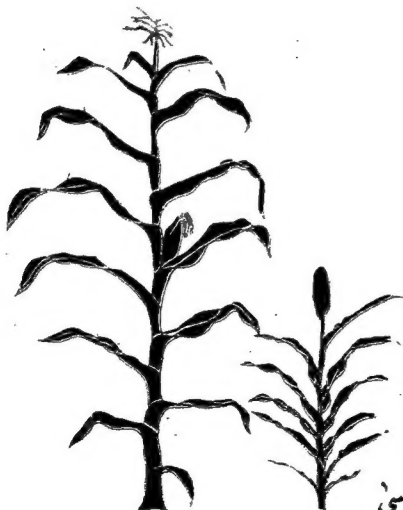


وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد

فسيولوجيا نباتات المحاصيل



ب. أحمد عيسى



فَسَيُؤَلِّجُهَا نَبَاتَاتُ الْحَاصِيلِ

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد

فسيولوجيا نباتات المحاصيل

تأليف

فرنكلن ب كاردنير
أر برينت بيرس
روجر ال ميشيل

ترجمة

الدكتور طاب أحمد عيسى

استاذ المحاصيل الحقلية المساعد
كلية الزراعة / جامعة بغداد

المقدمة

ينصب اهتمام هذا الكتاب حول فسيولوجيا المحاصيل التي تمكس التغيرات
العديدة والجهود الواسعة التي بذلت منذ طبع كتاب زراعة ونمو المحاصيل سنة ١٩٧٠
(المترجم من قبل المترجم سنة ١٩٨٤) . بوقت كان مقبولا من قبل المختصين بعلم
المحاصيل والتربة . هذ وقد أصبحت فروع فسيولوجيا المحاصيل في السنوات التي
تلت طبع ذلك الكتاب أكثر وضوحاً واستخداماً لذا فان هذا الكتاب قد طبع تحت
عنوان فسيولوجيا نباتات المحاصيل . إن المساهمة الفريدة لعلم الحقلية المتمثل
بأقسام المحاصيل الحقلية والتربة والبيئة تتأتى من تكامل ودمج الظواهر البيولوجية
والكيميائية والفيزيائية في أنظمة ادارية مفيدة في انتاج المحاصيل . هنا علماً أن
العالم البيولوجي يستمر في التأكيد على البيولوجي الجزئي (the reductionist
approach) . ويبقى الزاماً على علماء الحقلية وعلماء فسيولوجيا المحاصيل العمل
على دمج المعلومات لتكوين مستويات جديدة من المعلومات والمعرفة لتطوير
أنظمة لحل المشاكل التي تواجههم بالتعاون مع البيولوجيين والكيميائيين والباحثين
في الاقسام العلمية الاساسية الاخرى .

لقد عالجنا المواضيع بصيغة تختلف عن التنظيم التقليدي على أساس المحاصيل
وبدلاً من ذلك كان التأكيد منصّباً على المفاهيم الفسيولوجية والعوامل المؤثرة على
العمليات الايضية والنمو والتكاثر . وقد أعطيت أمثلة على نباتات المحاصيل كجزء
أساسي للمناقشة . وكان من الواجب تشخيص الاسس الرئيسية التي يمكن تطبيقها
على الانواع . وقد استخدمت المصطلحات في مستوى متوسط من التوضيح لاجل
تسهيل قراءة وفهم طلبة الدراسات الاولى في درس فسلجة المحاصيل المتقدم .
وكذلك لتوفير مصدر مدخل الى فسيولوجيا المحاصيل لطلبة الدراسات العليا .

لذا فان لهذه المناقشة هدفين أساسيين ، الاول ، تطوير وفهم الاسس المهمة
المستخدمة في تطبيق زراعة نباتات المحاصيل . والثاني تطوير القابلية لاستعمال
هذه الاسس في استراتيجيات الانتاج .

وقد طور هذا التوجه نحو فسيولوجيا المحاصيل في ورقة عمل أعدت من قبل
Frank Gardner و Roger Mitchell سنة ١٩٦٢ في الطبعة الاولى لكتاب
زراعة ونمو المحاصيل . وفي هذه الطبعة قام F. Gardner بدور رئيسي في إعادة
كتابة هذا الكتاب وساهم Brent Pearce بشكل مكثف في توسيع أفق
فسيولوجيا المحاصيل .

المحتويات

الصفحة	
٩	الفصل الأول التشيل الضوئي →
٥٣	الفصل الثاني تثبيت الكربون بواسطة الكساء الخضري للمحاصيل
٩٧	الفصل الثالث النقل والتوزيع (التقسيم)
١٢٣	الفصل الرابع علاقات الماء
١٥٧	الفصل الخامس التغذية المعدنية
٢١١	الفصل السادس تثبيت النايتروجين بايولوجياً
٢٤٩	الفصل السابع تنظيم نمو النبات
٢٩٧	الفصل الثامن النمو والتكوين
٣٢٩	الفصل التاسع البنور والانبات
٣٨٣	الفصل العاشر نمو الجذور
٤٢١	الفصل الحادي عشر النمو الخضري
٤٦١	الفصل الثاني عشر الازهار والاثمار

التمثيل الضوئي

Photosynthesis



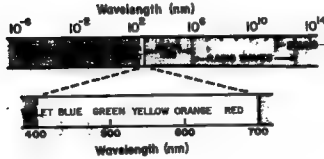
ان الزراعة اساساً عبارة عن نظام لاستثمار الطاقة الشمسية من خلال عملية التمثيل الضوئي . ويعد التمثيل الضوئي المصدر الرئيسي للطاقة المستخدمة من قبل الانسان وهو تجهز الطاقة في غذائه وغذاء حيواناته وكذلك الوقود المستخدمة في تشغيل المعامل والكثير من المكاين الصناعية . ان دراسة فسلجة المحاصيل تقودنا الى اكتشاف ان حاصل نباتات المحاصيل يعتمد بصورة رئيسية على حجم وكفاءة التمثيل الضوئي . وان جميع عمليات ادارة ورعاية المحصول تبدأ من هذا الافتراض . وبما ان التمثيل الضوئي هو الركيزة الاساسية لانتاج المحاصيل فمن الضروري فهم جاهزية الطاقة للقيام بهذه العملية . وكذلك معرفة وفهم تفاعل الخواص التشريحية والعمليات الكيموحيوية في النبات التي تعمل على امتصاص وتخزين الطاقة الشمسية .

الضوء المستخدم في التمثيل الضوئي الخواص

يعتبر الضوء المرئي مصدر الطاقة المستخدمة من قبل النبات في عملية التمثيل الضوئي (شكل ١-١) . وللطاقة الضوئية خواص مميزة يمكن توضيحها من خلال نظريتين ذات علاقة مع بعضها هي نظرية الموجات الكهرومغناطيسية *electromagnetic wave theory* ونظرية الكوانتم *quantum theory* . وتنص نظرية الموجات الكهرومغناطيسية بان الضوء ينتقل خلال الفضاء على شكل موجات . ويطلق على عدد الموجات المارة بنقطة معينة في فترة زمنية معينة بالتردد *frequency*

$$\nu = c/\lambda$$

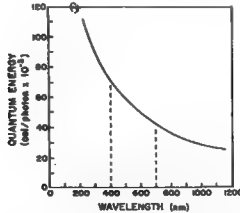
حيث أن ν = التردد (طول الموجات / ثانية) .
 c = سرعة الضوء (3×10^{10} سم / ثانية) .
 λ = طول الموجة الضوئية .



شكل (١ - ١) طاقة اشعاع الطيف . الفوتونات في المدى ٤٠٠ - ٧٠٠ تستعمل في التمثيل الضوئي

وعند تقسيم سرعة الضوء على التردد نحصل على طول الموجة الضوئية .
 أما نظرية الكوانتم فانها تنص على أن الضوء ينتقل في حزم على هيئة دقائق تدعى فوتونات *photons* وتسمى الطاقة الموجودة في الفوتون الواحد بالكوانتم *quantum* . وبما أن الطاقة الموجودة في الفوتون الواحد تتناسب مع التردد . لذا فيمكن التعبير عن الكوانتم بطول الموجة وان الطاقة بالفوتون الواحد تتناسب عكسياً مع طول الموجة (شكل ١ - ٢) .

$$E = h\nu = c/\lambda$$



شكل (٢ - ١) طاقة الفوتونات بالحوال موجات مختلفة . وتبين الخطوط المتقطعة الحدود الدنيا والعليا لحوال الموجات التي يمكن ان تحدث التمثيل الضوئي

$$\begin{aligned} \text{حيث أن } E &= \text{طاقة الفوتون (كوانتم)} \\ h &= \text{ثابت بلانك (} 6.626 \times 10^{-34} \text{ ليرج / ثانية)} \\ c &= \text{سرعة الضوء (} 3 \times 10^8 \text{ م / ثانية)} \\ \lambda &= \text{طول الموجة الضوئية} \end{aligned}$$

يعد تفاعل الضوء في التمثيل الضوئي نتيجة مباشرة لامتصاص الفوتونات بجزئيات الصبغة مثل صبغة الكلوروفيل. هذا ولا تحوي جميع الفوتونات على مستوى الطاقة المطلوب لاثارة صبغات الورقة. ان الفوتونات الواقعة في المجال الاعلى من ٧٦٠ نانوميتر nm لا تملك الطاقة اللازمة لاثارة الصبغات بينما الفوتونات الواقعة في المجال الاقل من ٣٩٠ نانوميتر nm تحوي على طاقة كبيرة جداً أكثر من حاجة الصبغات للاثارة لذا فانها تسبب تحلل وتلف الصبغات وان الفوتونات الواقعة بين ٣٩٠ - ٧٦٠ نانوميتر (المطابقة للضوء المرئي) هي التي تكون فقط حاوية على مستوى الطاقة المناسبة للقيام بعملية التمثيل الضوئي.

وبما ان اثارة الصبغات هي نتيجة مباشرة للتفاعل بين الفوتون والصبغة، لذلك فان قياس الضوء المستخدم في عملية التمثيل الضوئي يكون عادة على أساس كثافة تدفق الفوتونات *Photon flux density* بدلاً من الطاقة. وتعرف كثافة تدفق الفوتونات بأنها عدد الفوتونات على مساحة سطح معين بوحدة الوقت وبما ان اطوال الموجات الواقعة بين ٤٠٠ و ٧٠٠ نانوميتر أكثر كثافة في التمثيل الضوئي، فان قياس الضوء المستخدم في التمثيل الضوئي يكون عادة على أساس كثافة تدفق الفوتونات ضمن اطوال هذه الموجات (الضوء المرئي) ويطلق على هذه القياسات بالاشعة الفعالة في عملية التمثيل الضوئي *photosynthetically radiation (PAR)* او كثافة تدفق الفوتونات للتمثيل الضوئي *photosynthetic photon flux density (PPFD)*

يعرف مصطلح اينشتاين *Einstein (E)* بأنه عبارة عن مول واحد من الفوتونات. وبهذا فان PAR الاشعة الفعالة في التمثيل الضوئي تقاس على أساس (مايكرو اينشتاين / م² / ثانية) او بوحدة النظام العالمي (مايكرومول / م² / ثانية).

الإشعاع الشمسي SOLAR RADIATION

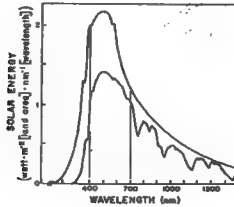
تأتي الطاقة الشعاعية المتوفرة للتمثيل الضوئي على سطح الأرض من الشمس .
وان جميع مصادر الطاقة المستخدمة من قبل الانسان بشكل مباشر أو غير مباشر
ناتجة من الطاقة الضوئية . ماعدى الطاقة الذرية واحتمال الطاقة الحرارية في باطن
الأرض . وتعتبر الشمس المصدر الوحيد للطاقة لنمو وتطور النبات .
ان الشمس جسم اسود مشع . ونسبة الى قانون Wein فان اطوال الموجات العالية
تتناسب عكسيا مع حرارة الجسم وان

$$\lambda \times 2.88 \times 10^3 = K$$

اقصى λ حيث ان (2.88×10^3) ثابت Wein و K تمثل درجة الحرارة ويعتقد بأن
درجة حرارة الشمس $T_s = 5780^\circ K$. لذا فان

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.88 \times 10^3}{5780} = 0.5 \text{ نانوميتر (الضوء الاخضر) .}$$

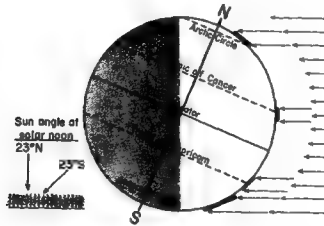
لذلك فان طيف الاشعاع الشمسي يملك ذروه في طول موجة مقدارها ٥٠٠ نانوميتر
(شكل ١- ٣) وهكذا فان النباتات تكيفت للاشعاع الشمسي بسبب ان الضوء
المرئي visible light لاطوال الموجات بين ٤٠٠ و ٧٠٠ نانوميتر يطابق ٤٤ -
٥٠ ٪ من الاشعاع الشمسي الكلي الداخل الى الغلاف الجوي للأرض .



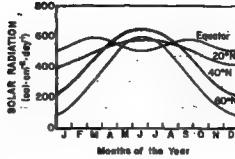
شكل (١- ٣) الطاقة عند اطوال موجات مختلفة من الاشعاع الشمسي في منتصف النهار . يمثل الخط الملوي
الطاقة فوق الجو المحيط بالكرة الأرضية مباشرة ويمثل الخط السفلي الطاقة التي تصل الى سطح الأرض .

الثابت الشمسي *solar constant* يساوي ٢ سم^٢ / دقيقة (١٣٩٥ واط / م^٢). وهي كمية الطاقة المستلمة على سطح مستوى عمودي على اشعة الشمس ومباشرة خارج الغلاف الجوي للأرض. وينخفض مستوى الاشعاع الشمسي عند مروره خلال الغلاف الجوي للأرض بسبب امتصاص وبعثرة الاشعة. وينخفض الاشعاع الشمسي عند سطح الأرض عندما يكون ذلك السطح عمودي على اشعة الشمس من ٢ الى ١.٤ و ١.٧ سم^٢ / دقيقة في يوم صاح.

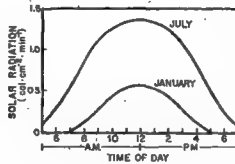
ويوضح شكل (١ - ٤) المحور الذي تدور حوله الشمس وعلاقة ميله مع الشمس. لذا فان الدورات الفصلية (شكل - ٥) والدورات اليومية (diurnal) (شكل ١ - ٦) للاشعاع الشمسي يتحكم بها بدرجة رئيسية خطوط العرض *latitude* وبسبب تأثير خطوط العرض هذه. فان العوامل التالية تؤثر على كمية الاشعاع الشمسي المستلم في يوم واحد :-



شكل (١ - ٤) علاقة الأرض بالشمس في ٢٢ حزيران. تكون الأرض بزاوية مقلدها ٢٣ درجة باتجاه الشمس. لذا فان الايام في نصف الكرة الشمالي تكون اطول والايام في نصف الكرة الجنوبي تكون اقصر من ١٢ ساعة. ويكون القطب الشمالي ذو اشعة شمسية ثابتة (اساسا من الاق). ويكون القطب الجنوبي خالي من اشعة الشمس المباشرة. وتكون الشمس بزاوية مقلدها ٩٠ درجة مع الاق وقت الظهيرة في مدار السرطان ونقط ٤٥ درجة في مدار الجدي. هنا وتتمكس هذه الحالة في ٢٢ كانون اول عندما يكون القطب الجنوبي بزاوية مقلدها ٢٣ درجة مع الشمس.



شكل (١-٥) الاختلاف الموسمي في طاقة الاشعاع الشمسي في خطوط عرض مختلفة في ايام عديدة اليوم



شكل (١-٦) الاختلاف اليومي في طاقة الاشعاع الشمسي في ايام خالية من الغيوم عند خط عرض ٤٢ درجة شمالا في الصيف والشتاء.

- ١- زاوية أشعة الشمس الساقطة على الموقع . عندما تكون زوايا الاشعاع الشمسي الساقطة صغيرة من الوضع العمودي مع سطح الارض فان الضوء ينتشر فوق مساحة ارض كبيرة اوبذلك يقل مستوى الضوء بوحدة مساحة الارض .
- ٢- طول النهار .

- ٣- كمية الغلاف الجوي الذي يمر خلاله الاشعاع كدالة لزاوية اشعة الشمس .
فالذا كانت زاوية الشمس ٩٠ درجة فان عدد الغلاف الجوي الذي يجب ان يمر خلاله الضوء يساوي واحد . وعند زاوية ٦٠ درجة يساوي ٢ وعند زاوية ٣٠ يساوي خمسة أغلفة جوية .

- ٤- عدد الجزئيات في الغلاف الجوي (جزئيات الغبار والماء المكثف مثل الضباب والغيوم وفي الكثير من المناطق الاستوائية يصل سطح الارض في المواسم الممطرة التي تهب فيها رياح موسمية monsoon ضوء اقل بكثير من مواسم الجفاف الخالية من الغيوم .

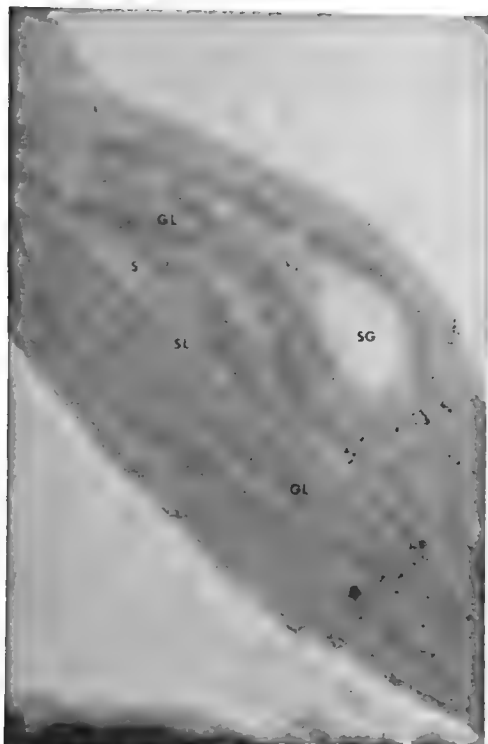
٥ - عوامل ثانوية أخرى كباين (قلب) الأشعة الشمسية الساقطة والمسافة بين الأرض والشمس وقدرة الأرض على عكس الأشعة الممتصة خلال اليوم من قبل سطح المحصول .
 إن ٧٥ - ٨٥% من الأشعاع الشمسي يستعمل بتبخير الماء و ١٠ - ١٥% يستعمل كطاقة مخزونة و ٥ - ١٠% يستعمل كحرارة متبادلة مع الغلاف الجوي بعمليات الحمل الحراري، ١٠ - ٥% يستعمل بالتمثيل الضوئي .

وحيث أن أقصى مستوى من الأشعاع الشمسي يحدث في حزيران وتموز فوق القسم الشمالي من نصف الكرة الأرضية hemisphere . لذا فقد يتوقع الإنسان العادي بأن الزراعيين يجعلوا محاصيلهم تكون ذروة نموها بذلك الوقت (مثلا جمل مرحلة امتلاء الحبوب في النرة البيضاء في ذلك الوقت) .
 ومع ذلك ، فقد تكون فرصة استغلال ذروة الأشعاع هذه محددة بحواجز درجات الحرارة الموسمية . وكذلك حقيقة أن أغلب المحاصيل تتكون من بنور صغيرة أو اعضاء صغيرة أخرى قبل إنتاج العاصل الاقتصادي economic yield (الجزء المحصود من المادة الجافة) . وإن التحدي الذي يواجه علماء فسلجة المحاصيل ومربي النبات هو استنباط محاصيل (اصناف) وكذلك تطبيقات خدمة المحصول لكي يمكنها من وضع المحصول في ذروة النمو المناسبة للاستفادة القصوى من ذروة الأشعاع .

أجهزة التمثيل الضوئي The Photosynthetic Apparatus تفاعل الضوء LIGHT REACTION

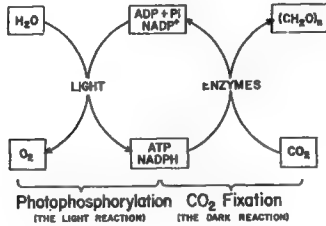
لقد سهل المجهر الإلكتروني مشاهدة البلاستيدة الخضراء chloroplast عن قرب وهي جهاز التمثيل الضوئي في النبات . والتي هي عضيات تشبه العدسة lens-shaped ويتراوح قطرها من ١ - ١٠ مايكرومليتر . وفيها منطقتين مميزتين ، (١) الأغشية lamellae

وتشمل على أغشية الحشوة (السدى) stroma lamellae وهي أغشية مزدوجة ، وأغشية الكرانا أو البذيرات (الحبيبات) grana lamellae وهي عدد من الأغشية المتراصة فوق بعضها . هنا وإن كلاهما مناطق مركزة من صبغات التمثيل الضوئي . (٢) الحشوة stroma وهي منطقة سائلة قليلة يحدث فيها اختزال ثاني اوكسيد الكربون (تفاعل الظلام) (شكل ١ - ٧) . ويحدث تحويل الطاقة



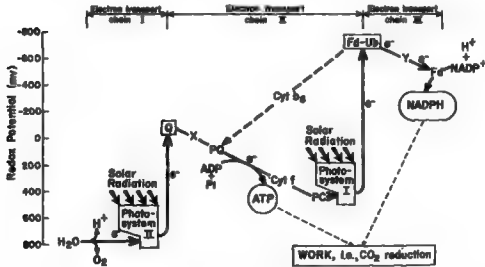
شكل (٧ - ١) بين البلاستيد الخضراء في البت وهي مكبرة (٩١,٥٠٠ مرة). S القشرة GL الغنية
الكروماتوفور البذيرات SL الغنية القشرة (المدى) SG حبة مثاق

الضوئية الى طاقة كيميائية (الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) في الاغشية ويشمل على أكسدة الماء واختزال نيكوتين أميد أدنين داي نيكليد فوسفات (NADPH) nicotinamide adenine dinucleotide phosphate وفسفرة ادينوزين ثنائي الفوسفات (ADP) الى ادينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) adenosine triphosphate شكل (٨-١). ويعد الـ NADPH اقوى مركب مختزل في النظام البايولوجي (مستقبل للالكترونات ومجهز لايونات الهيدروجين). والـ ATP مشابهة له مع طاقة جاهزة في النظام البايولوجي. وعند ازالة مجموعة فوسفات من الـ ATP تتحرر او تطلق الطاقة ايضاً. وتتصل الفوسفات المزالة مع بعض الجزيئات (الفسفرة (phosphorylation) بالطاقة المطلقة او المتحررة، وبذلك ترفع طاقة الجزيئية وتسمح بدخولها بتفاعلات كيميائية اخرى ويتطلب النبات كل من الـ NADPH والـ ATP لتحويل ثاني اوكسيد الكربون الى جزيئات عضوية.

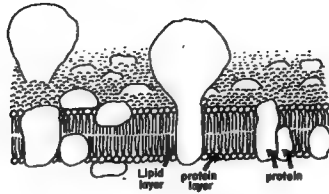


شكل (٨-١) تعامل الطلام والضوء اللتان يكونان التمثيل الضوئي. تسري الطاقة من الضوء (الاشعاع) الى مركبات وسطية حاملة الطاقة ATP و NADPH ثم الى طاقة دائمة على هيئة لوامر تربط ذرات الكربون في الجزيئات العضوية.

ان نظام نقل الالكترونات مفهوماً بصورة جيدة (شكل ١-٩). ويوجد مركزين للتفاعل والتي فيها تمتص الفوتونات وتستهلك لتسيير النظام. وتحوي مراكز التفاعل هذه على جزيئات صبغ عديدة. وعندما تمتص الصبغة الفوتون كالكلوروفيل والكاروتين. فان الطاقة ترفع الالكترون (e^-) من حالة الطاقة المنخفضة (حالة الخمود energy state الى حالة الطاقة العالية (حالة الاثارة excited state. وفي حالة الاثارة هذه تستطيع/جزيئة الصبغة منح donate واستقبال accept الالكترونات في جزيئات اخرى. ويعمل النظام الضوئي الثاني Photosystem II على ازالة الالكترونات من جزيئات الماء. وتستقبل هذه الالكترونات مادة اطلق عليها Q. ويعتبر النظام الضوئي الاول Photosystem I طاقة اكثر من الفوتونات الممتصة. ويساعد على ازالة الكترونات من Q وهذه تقدم الطاقة المطلوبة للفسفرة الضوئية (تكوين ATP واختزال الـ $NADP^+$ (شكل ١-٩). وتمتد الاغشية lamellae الموجودة في البلاستيدات الخضراء اغشية متخصصة تحوي على صبغات وبروتينات ومواد دهنية تساعد في نقل الالكترونات (شكل ١-١٠).

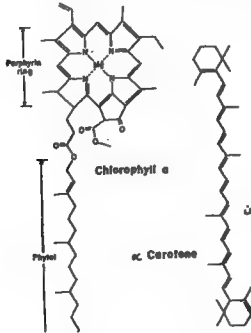


شكل (١-٩) مخطط الطاقة لنظام انتقال الالكترونات في التمثيل الضوئي على اساس جهد الاكسدة - الاختزال القياسي. ترتبط سلاسل انتقال الالكترونات الاولى (١) والثالثة (١١١) بالحلقة المركزية (١١) بين مستقبل الالكترونات الاول للنظام الضوئي الاول والنظام الضوئي الثاني التي تسبب فسفرة الـ ADP الى ATP. ويتم سريان الالكترونات غير المتكافئة في كلا النظامين ابتداءً من الماء وانتقاله بالـ NADPH. اما سريان الالكترونات المتكافئة فيتم في النظام الضوئي الاول (المعط غير المتكافئ) الذي يتم بمساعدة سايانوكروم b6 ويؤدي الى انتاج الـ ATP في سلسلة انتقال الالكترونات في النظام الثاني.



شكل (١-١) أغشية البلاستيدات تنفذ الطبقة الدهنية lipid الداخلية طبقة بروتين خارجية في كلا الجانبين . ويحوي الغشاء على انزيمات مركبات التمثيل الضوئي الأخرى . وتتواجد الصبغات في الطبقة الدهنية مع مجموعة قطبية (مثل حلقة البورفيرين porphyrin ring في الكلوروفيل) المرتبطة بطبقة البروتين . ويمتص الضوء صبغات الأغشية الموجودة في غشاء الصفيحة lamella مسبباً انتقال الإلكترونات ومنحدر تدرج الثوتون مؤدياً إلى حصول فجرة الـ ADP إلى ATP واختزال الـ NADP⁺ إلى NADPH.

تحتوي صبغات أغشية البلاستيدة على نوعين من الكلوروفيل b و a ونوعين من الصبغات الصفراء والبرتقالية والتي شخّصت بأنها كاروتينويدات carotenoids (كاروتينات carotenes وزنثوفيلات xanthophylls . ويبين شكل (١-٢) تراكمات بعض هذه الصبغات .

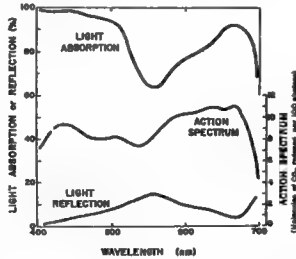


شكل (١-٢) تركيب كلوروفيل a و كاروتين .

وقد اوضحت التجارب بان حلقة البورفيرين *porphyrin ring* في الكلوروفيل مرتبطة مع مركبات البروتين في الاغشية ومن المحتمل بان ذيل الفايترول *phytol tail* والكاروتينات الكارهة للماء *hydrophobic* مرتبطة مع دهن داخلي في الاغشية. وتعمل الكاروتينات كمصفات جانبية في امتصاص الضوء. هنا وان بعضها غير فعال اما البعض الاخر فيقوم بنقل الالكترونات المثارة الى الكلوروفيل ومن نظام ضوئي الى اخر. وهي ظاهرة تسمى تأثير امرسون *Emerson effect* هذا علاوة على قدرتها في تقليل معدل تلف الكلوروفيل الضوئي (Anderson 1975) •

ومن خلال التكيف يمتص الكلوروفيل وصبغات الورقة الاخرى طيف الضوء المطابقة للضوء المرئي لعين الانسان. ان الضوء الممتص من قبل الورقة يختلف الى حدما عن الضوء الممتص من قبل الكلوروفيل في الاثير *ether*.

وبين شكل (١ - ١٢) كفاءة الكوانتم *quantum efficiency* (عدد المولات المختزلة من ثاني اوكسيد الكربون لكل مول من الفوتونات) لاوراق الفوصوليا من ٨ - ١٢ % باستخدام ضوء احادي اللون *monochromatic light* (طول موجه فردية) من ٤٠٠ - ٧٠٠ نانوميتر. ويمد الضوء الاحمر اكثر كفاءة من الالوان الاخرى يليه اللون الازرق. واللون الاخضر اقلها كفاءة ولا يوجد تفاير كبير بين



شكل (١ - ١٢) امتصاص وانعكاس الضوء في اوراق الفوصوليا مقارنة مع فعالية الطيف (Balegh and Biddulph 1970)

عمل الطيف وامتصاص الاوراق له من ٤٠٠ - ٧٠٠ نانوميتر كما تتوقع عند النظر الى الاختلاف في امتصاص صبغات الورقة الفردية .

ان مستقبلات Acceptors ومانعات donors الالكترون غير الصبغية مرتبطة مع بروتينات الاغشية . وتعد السايتركرومات cytochromes احد هذه المركبات وهي بروتينات ذات حلقات بروفيرين مشابهة الى الكلوروفيل . الا ان المنصر المعدني الوسطي هو الحديد (Fe) وليس المغنيسيوم الذي يمنح او يستقبل الالكترون . وفي بعض المركبات الاخرى يكون النحاس (Cu) هو المنصر المانح او المستقبل للالكترون .



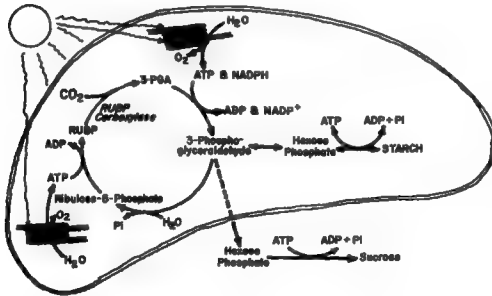
تثبيت ثاني اوكسيد الكربون CARBON DIOXIDE FIXATION

تعتمد الزراعة على حاصل او وزن منتجات المحاصيل . وحيث ان الوزن المحصود يحسب عادة على اساس محتوى رطوبي معين ، لنا فان الحاصل يعادل حاصل المادة الجافة للنبات . وهي التوازن بين امتصاص ثاني اوكسيد الكربون (التمثيل الضوئي) واطلاق ثاني اوكسيد الكربون (التنفس) . يمثل التنفس لاغلب انواع المحاصيل خلال النمو اليومي تحت البيئة الزراعية ٢٥ - ٣٠ ٪ من التمثيل الضوئي الكلي . لنا فان الوزن الجاف للنبات يزداد . وعندما يكون التنفس اكثر من التمثيل الضوئي يفقد النبات الوزن الجاف ويمكن ملاحظة ذلك بوضع النبات في الظلام ومنع التمثيل الضوئي .

تحول تفاعلات الضوء الطاقة الضوئية طاقة كيميائية في مركبات الـ NADPH و ATP ولوقت قصير . ثم تستعمل هذه المركبات لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى مركبات عضوية ثابتة والتي فيها ينتج وزن النبات الجاف .

تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في انواع ثلاثة الكربون

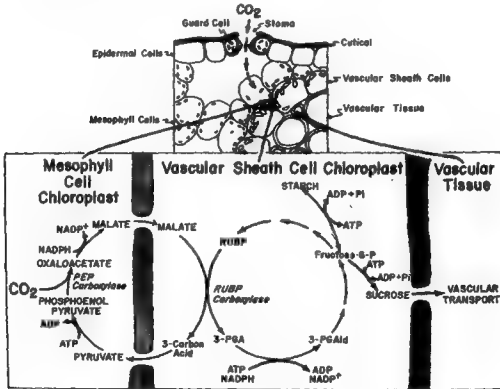
ان مسار الكربون في التمثيل الضوئي الذي يشكل اساس معلوماتنا في الوقت الحاضر قد قام به العالم Calvin وزملائه (1957 Bassham and Calvin) ويوضح شكل (١ - ٣) مخطط لدورة كالفن للتمثيل الضوئي. يتم تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في دورة كالفن بمساعدة أنزيم *carboxylase*. (RuBP) ويلاحظ بأن الـ ATP المنتج بعملية الفسفرة الضوئية يستعمل لتحويل *ribulose-bis-phosphate* الى RuBP (شكل ١ - ٣). وبعد تثبيت ثاني اوكسيد الكربون يقوم الـ ATP مع *NADPH* من عمليات تفاعل على الضوء في تقيير *3-phosphoglyceric acid* (3-PGA) الى *3-phosphoglyceraldehyde* (3-PGald). تسمى الانواع التي تسلك هذا المسار بثلاثية الكربون *C₃ species* بسبب ان الناتج الاولي في عملية التمثيل الضوئي الذي يمكن قياسه باستخدام ثاني اوكسيد الكربون المشع ($^{14}\text{CO}_2$) يحوي على ثلاث جزيئات من الكربون.



شكل (١ - ٣) دورة كالفن. مثالا على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون كما يحصل في نباتات ثلاثية الكربون C_3

تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في انواع رباعية الكربون

منذ سنة ١٩٥٤ الى ١٩٦٦ اعتبرت دورة كالفن بانها المسار الوحيد لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون في النباتات الراقية. الا ان اعمال Hatch و Slack (1966) في استراليا وفرت دلائل تفصيلية على وجود مسار آخر لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون في بعض الانواع ويثبت ثاني اوكسيد الكربون في هذا المسار بمساعدة انزيم *phosphoenol pyruvate carboxylase* (PEP). ويلاحظ في شكل (١-١٤) بأن الـ ATP المنتج بعملية الفسفرة الضوئية يستعمل لتحويل البايروفيت *pyruvate* الى PEP. ويتم عملية كربسلة مركب PEP وهو يتكون من ثلاثة جزيئات كربون الى ثلاثة حوامض رباعية الكربون (aspartate, malate, oxaloacetate), وتنقل هذه الاحماض الاربعة الى خلايا غلاف الحزمة *vascular sheath* وتحول هناك الى بايروفيت *pyruvate* وعند تحويل هذه الاحماض الى بايروفيت تتحرر جزيئة كربون وهذه تتحول باضافتها



شكل (١-١٤) حركة وتثبيت ثاني اوكسيد الكربون في نباتات رباعية الكربون C₄

اما الى RuBP او الى مركب ثاني اوكسيد الكربون لتكوين مركب 3-PGA بمساعدة انزيم RuBP carboxylase وبعد انتاج مركب 3-PGA يبدأ عمل دورة كالفن . وتسمى الانواع التي يثبت فيها ثاني اوكسيد الكربون بمسار Hatch و Slack بانواع رباعية الكربون C₄ species بسبب ان الناتج الاولي في عملية التمثيل في خلايا النسيج الوسطي mesophyll يتكون من اربعة جزيئات كاربون .

مقارنة انواع C₃ و C₄

توجد أختلافات عديدة بين انواع ثلاثية ورباعية الكربون

١ - الاختلافات التشريحية (يسمى تشريح ورقة انواع رباعية الكربون تشريح الضفيرة (Kranz anatomy)

أ - تحوي انواع رباعية الكربون على البلاستيدات الخضراء في غلاف الحزمة الوعائية بينما لاتحوي هذه الخلايا على البلاستيدات الخضراء في نباتات ثلاثية الكربون

ب - تكون البلاستيدات الخضراء في خلايا النسيج الوسطي لانواع ثلاثية ورباعية الكربون (وهي تتكون من غشائين خارجيين وبذيرات grana متطورة جداً)

الا انهما يختلفان كثيراً من الناحية الكيموحيوية . يثبت ثاني اوكسيد الكربون في انواع ثلاثية الكاربون بأنزيم RuBP carboxylase وتتم دورة كالفن ويتراكم النشاء (شكل ١ - ١٣) . ويثبت ثاني اوكسيد الكربون في انواع رباعية الكربون بأنزيم PEP carboxylase الذي يكون احماض رباعية الكربون التي تنتقل الى خلايا غلاف الحزمة الوعائية . هنا ويتكون النشاء في خلايا النسيج الوسطي هذه وتتكون احماض رباعية الكربون فقط .

ج - تختلف البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا غلاف الحزمة الوعائية في انواع رباعية الكربون تشريحياً . فهي اكبر وفيها بذيرات grana اقل تطوراً من بلاستيدات خلايا النسيج الوسطي . وبما ان دورة كالفن تتم في هذه الخلايا لذا فانها تخزن النشاء

٢- يعد انزيم **PEP carboxylase** ذو قوة جذب اقوى لثاني اوكسيد الكربون من انزيم **RuBP carboxylase** لذلك فهو يعمل بكفاءة اعلى في تراكيز ثاني اوكسيد الكربون المنخفضة .

٦- معدلات التمثيل الضوئي في نباتات رباعية الكربون اعلى مما في انواع ثلاثية الكربون وخاصة عند شدة الاضاءة العالية (انظر شكل ١ - ٢٠) .

٤ . تستعمل انواع رباعية الكربون طاقة اكثر من انواع ثلاثية الكربون في تثبيت جزيئة واحدة من ثاني اوكسيد الكربون . هنا ولم يتم اثبات هذه النقطة الا انها تبدو محتملة وذلك من متطلبات الـ **ATP** لتكوين **PEP**

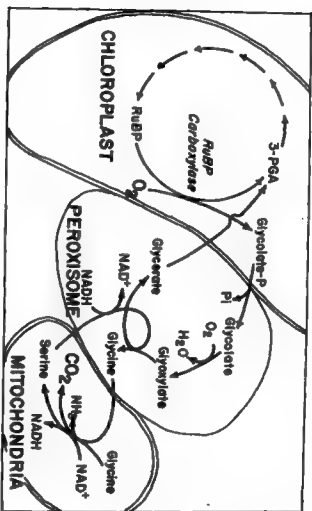
٥- يتواجد انزيم **Ribulose bis-phosphate carboxylase** بمستويات اقل بكثير في انواع رباعية الكربون من انواع ثلاثية الكربون (حوالي ١٠ %) .

ويبدو ان ثلاثية الكربون لاحتوي على انزيم **PEP carboxylase**

٦- توجد اختلافات في تكيف الانواع باختلاف اليات تثبيت ثاني اوكسيد الكربون وتعد انواع ثلاثية الكربون متكيفة الى الظروف الباردة او الرطبة الحارة او الرطبة بينما انواع رباعية الكربون متكيفة للظروف الحارة او الجافة او الرطبة .

٧- ان العامل الرئيسي المؤدي الى زيادة كفاءة التمثيل الضوئي في انواع رباعية الكربون هو انعدام او انخفاض التنفس الضوئي **photorespiration** بدرجة كبيرة (وهو التنفس بوجود الضوء) . ويؤدي التنفس الضوئي الى فقدان ثاني اوكسيد الكربون في الانسجة القائمة بالتمثيل الضوئي وهو المصدر الرئيسي لتحرير او اطلاق ثاني اوكسيد الكربون في انواع ثلاثية الكربون بوجود الضوء . ويحدث كنتاج عرضي في دورة كالفن (شكل ١ - ١٥) وبما ان انزيم **RuBP carboxylase** هو ايضا **RuBP oxygenase** لذا فان الاوكسجين وثاني اوكسيد الكربون يتنافسان على انزيم واحد وعلى نفس المركب **ribulose bis- phosphate** ان التنفس الضوئي غير مهم في نباتات رباعية الكربون . ويعتقد بان هذا هو العامل الرئيسي الذي يعطي انواع

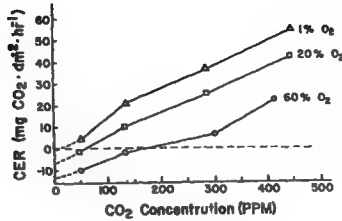
رباعية الكربون كفاءة تمثيل ضوئي اعلى من انواع ثلاثية الكربون . ويعتقد بأن أنواع رباعية الكربون ذات تنفس ضوئي قليل جداً أو معدوم بسبب انتقال حوامض رباعية الكربون الى خلايا غلاف الحزمة الوعائية التي يكون فيها تركيز ثاني اوكسيد الكربون عالي والذي يفضل تفاعل انزيم **RuBP**



شكل (١٠ - ١) مسار التمثيل الضوئي في خلايا البزعة الانجعية لجذات الخشب الكرمي

carboxylase على تفاعل انزيم RuBP oxygenase . ومع ذلك ، فان اي تحرر لثاني اوكسيد الكربون من خلايا غلاف الحزمة الوعائية من المحتمل ان لا يترك الورقة بسبب قوة لجذب انزيم PEP carboxylase لثاني اوكسيد الكربون في خلايا النسيج الوسطي ، لذا فلا يمكن قياس التنفس الضوئي الذي يحدث (Goldsworthy ، 1970) . ويبدو ان التنفس الضوئي يطلق او يحرق ثاني اوكسيد الكربون بدون ربط للطاقة المكتسبة للقيام باعمال مفيدة . ويقوم التنفس الضوئي بتوفير مركبات لتمثيل احمض اأمينية ويحافظ على دورة الفوسفات اللاعضوية ، والذي قد يكون مفيدا تحت ظروف الاضاءة القليلة ودرجات الحرارة المنخفضة . ويجب استعمال تقنيات خاصة لقياس التمثيل الضوئي هي ، -

- أ - استمرار هواء خالي من ثاني اوكسيد الكربون على ورقة بوجود أشعة ضوئية فانها تحرر او اطلق ثاني اوكسيد الكربون فهو قياس للتنفس الضوئي (شكل ١ - ١٦) .
- ب - وضع النباتات او الاوراق في اواني محكمة لايدخل اليها الهواء بوجود الضوء سوف يؤدي الى سحب تركيز ثاني اوكسيد الكربون من الهواء ويصل الى جالة تعادل (تركيز التعويض compensation concentration) وهو قياس للتنفس الضوئي (شكل ١ - ١٦) .
- ج - اذا وضعت ورقة بصورة مفاجئة في الظلام يتوقف التمثيل الضوئي الا ان التنفس الضوئي سوف يستمر لفترة قصيرة لاستعمال حامض الكلايكوليك glycolic acid وهذا يسبب حصول postillumination burst لثاني اوكسيد الكربون المتحرر اكثر بكثير من تعادل ثاني اوكسيد الكربون المتحرر في تنفس الظلام dark respiration
- د - يتطلب تحويل حامض الكلايكوليك glycolic الى حامض الكلايكوليك glyoxylic الى الاوكسجين . فعند انخفاض تركيز الاوكسجين في الهواء من ٢١ ٪ الى ١ ٪ او اقل يتوقف التنفس الضوئي . لذا فان الفرق في التمثيل الضوئي في تركيز ٢١ ٪ و ١ ٪ اوكسجين يعتبر قياس للتنفس الضوئي (شكل ١ - ١٦) .



شكل (١ - ١٦) معدلات تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في فول الصويا C_2 عند تراكيز مختلفة من ثاني اوكسيد الكربون والاكسجين لاحظ بان التنفس الضوئي قريب من الصفر عند تراكيز 2×10^{-4} اوكسجين ويزداد بزيادة تركيز الاوكسجين (Hitz 1978)

وكلا النوعين يؤدي الى تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في انواع المحاصيل .
انواع ثلاثية الكربون انواع رباعية الكربون

حشائش الموسم الحار (مثل الذرة الصفراء الذرة البيضاء ، الحشيش السوداني القصب السكري ، الدخن ، حشيش بيرموذا حشائش مروج الموسم الحار)	حشائش الموسم البارد (مثل الحنطة الشوفان الشعير ، الرز ، الشيلم الحشيش الازرق ، فيسكو <i>fescue</i> حشيش برومي)
انواع ذات الفلقتين (لا توجد انواع محاصيل رئيسية الا ان هناك عدد من انواع الادغال مثل (القطيفة) <i>amaranthus</i> - ودغل الخنزير (pigweed)	انواع ذات الفلقتين (مثل البقوليات القطن ، البنجر السكري ، الكتان التبغ ، البطاطا) .

الايض الحامضي للنباتات العصارية المتشحمة

Grassulation Acid Metabolism Plants

هناك نوع ثالث لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون تسمى ايض الحامض التشحمي *crassulation acid metabolism (CAM)* تحدث بالدرجة الرئيسية بالنباتات العصارية *succulent* ، وهي ذات اوراق وسيقان لحمية . وان مثل هذه النباتات متكيفة للظروف الجافة حيث يكون النتاج *transpiration* القليل (تبخر الماء من اسطح النبات ضرورة للبقاء). وتحت ظروف الرطوبة المنخفضة تفتح هذه النباتات ثغورها اثناء الليل لتمتص ثاني اوكسيد الكربون وتغلقها اثناء النهار لذا فهي تقلل عبه النتج من النبات . وهناك محاصيل قليلة مدجنة ذات مسار CAM وتشمل على الاناناس *pincapple* والصابر الامريكي *Agave* (السيال *sisal*) وكشمري بريكلي .

تثبت انواع CAM ثاني اوكسيد الكربون الى احماض رباعية الكربون بمساعدة انزيم *PEP carboxylase* كما في انواع رباعية الكربون . فقط انها تحدث اثناء الليل عندما تكون الثغور مفتوحة وتحصل على الطاقة اللازمة من تحليل السكر *glycolysis* . يسبب الاشعاع الشمسي غلق الثغور وانارة او اشعاع الورقة . وتستعمل طاقة الضوء هذه في دورة كالفن التي تأخذ ثاني اوكسيد الكربون من الاحماض رباعية الكربون كما في تفاعل خلايا غلاف الحزمة الوعائية في نباتات رباعية الكربون . ان البلاستيدات الخضراء في نباتات CAM مشابهة لتلك الموجودة في نباتات ثلاثية الكربون . وتغير الكثير من انواع CAM في ظروف الرطوبة الملائمة وظيفة الثغور ويصبح مسار تثبيت الكربون مشابها لانواع ثلاثية الكربون .

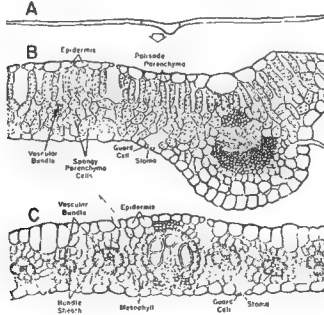
وهكذا فقد طورت نباتات CAM طريقة فسيولوجية بارعة لتقليل فقد الماء والتخلص من الجفاف . وهي احيانا نباتات محاصيل مهمة عندما تكون الرطوبة المتيسرة للمحاصيل قليلة .

الورقة عضو التمثيل الضوئي

تعد الورقة العضو الرئيسي الذي يقوم بعملية التمثيل الضوئي في النباتات الراقية . وقد تطورت الورقة وجهاز بتركيب يتحمل قسوة البيئة اضافة الى توفير امتصاص فعال للضوء وامتصاص سريع لثاني اوكسيد الكربون للتمثيل الضوئي . وتتصف اوراق اغلب المحاصيل بمايلي .

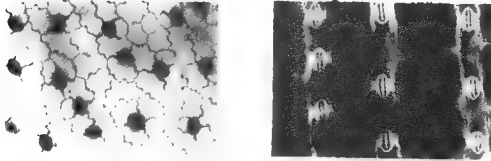
- ١- سطح خارجي منبسط كبير .
 - ٢- سطح واقفي علوي وسفلي .
 - ٣- وجود ثغور عديدة بوحدة المساحة .
 - ٤- وجود سطح داخلي واسع وفراغات هوائية متصلة مع بعضها .
 - ٥- عدد كبير من البلاستيدات الخضراء في كل خلية .
 - ٦- تقارب الاوعية الناقلة مع خلايا التمثيل الضوئي
- ويمكن ان تتكون الورقة المثالية لتبادل الغازات بسلك خلية واحدة فقط . الا أن قساوة البيئة الطبيعية تتطلب وجود عدة طبقات من الخلايا وسطوح لحمايتها لاجل البقاء .

يسمح سطح الورقة الخارجي المنبسط الكبير باعتراض اقصى كمية من الضوء بوحدة الحجم ويقلل المسافة التي يجب أن يمر بها ثاني اوكسيد الكربون من سطح الورقة الى البلاستيدة الخضراء . وهي حوالي ٠.١ ملم لاوراق أغلب المحاصيل (شكل ١ - ١٧) . تعمل البشرة epidermis كحاجز لتبادل الغازات وذلك بسبب



شكل (١ - ١٧) مقاطع عرضية لاوراق (A) مضطهد يمثل ورقة الجب (B) حنجر عرضي لورقة الجب (من نباتات C₃) . (C) مقطع عرضي لورقة الترة الصفراء (من نباتات C₄) تمثل المناطق الداكنة (السوداء) في الخلايا البلاستيدات .

تغطية خلايا البشرة بطبقة شمعية تسمى الادمة *cuticle* . ويسمح كل من الادمة والبشرة بأنتقال ومرور الضوء المرئي خلالهما الى داخل الورقة . وتمنع الادمة تبادل الغازات بين الورقة والجو الخارجي وهو مهم لمنع زيادة فقد الماء . ويحدث أغلب تبادل الغازات في الاوراق من خلال الثغور . ويوجد عدد كبير من الثغور على سطح الورقة (١٢ - ٢٨١ ثغرة / ملم^٢) التي تسمح بانتشار كبير لثاني اوكسيد الكربون الى الورقة عند انفتاح الثغور (جدول ١ - ١) . تحيط فتحة الثغور خلايا حارسة *Guard cells* تنظم عملية فتحها وغلقها (شكل ١ - ١٨) . ويعتبر غلق الثغور مهما لمنع فقد الماء عندما يكون الماء محدود . الا أنه بنفس الوقت يقلل من دخول ثاني اوكسيد الكربون للتمثيل الضوئي . وتنمو أغلب انواع المحاصيل تحت إشعاع شمسي كامل وتحوي على الثغور في جانبي الورقة . وتحوي أغلب نباتات انواع الظل *shade species* على ثغور في البشرة السفلية *abaxial epidermis* فقط .



شكل (١ - ١٨) (يسار) بشرة ورقة البرسيم (ذات الفلقتين) . (يمين) بشرة ورقة القرة الصفراء (غلقة واحدة) . يمكن ملاحظة الاختلاف في الغلايا الحارسة وترتيب المشوة *stomata* في كلا النوعين .

ويوجد داخل الورقة عدد كبير من خلايا النسيج الوسطي *mesophyll cells* ومسافات بيئية متصلة مع بعضها . ويختلف تشريح ورقة نباتات الفلقتين عن ورقة نباتات الحشائش الا انه ليس هناك دلائل تبين اي من التركيبين اكثر كفاءة في اعتراض الضوء او انتشار ثاني اوكسيد الكربون . هذا وان الاختلافات التشريحية بين انواع C_3 و C_4 و CAM تؤثر على كفاءة التمثيل الضوئي .

يؤدي وجود عدد كبير من خلايا النسيج الوسطي في الاوراق الى زيادة مساحة السطح الداخلي الكلية (٦ - ١٠ مرات بقدر المساحة الخارجية) مما يسمح لثاني اوكسيد الكربون بملامسة جدران خلايا اكثر . وتسمح المسافات البينية بانتشار سريع لثاني اوكسيد الكربون من الثغور الى اسطح الخلايا . يكون مسار ثاني اوكسيد الكربون الى الورقة من الثغور ثم الى جدران الخلايا . حيث يذوب بالماء ثم ينتشر الى البلاستيدات الخضراء ويكون بسبب انحدار التدرج المتكون بتثبيت ثاني اوكسيد الكربون .

تحتوي اغلب خلايا النسيج الوسطي على عدد كبير من البلاستيدات الخضراء (٢٠ - ١٠٠ بلاستيدة / خلية) التي يتم فيها تفاعل الضوء والتمثيل الضوئي . وعند تعرض الضوء للورقة تتجمع عادة البلاستيدات على جانب جدار الخلية . مهيئة نفسها لاعتراض اغلب الضوء تحت الظروف المعتمدة او احيانا لاعتراض اقل ضوء تحت ظروف الاضاءة العالية . ويساعد وجود البلاستيدات الخضراء بالقرب من جدران الخلايا على انتشار ثاني اوكسيد الكربون السريع من جدران الخلايا الى البلاستيدات الخضراء .

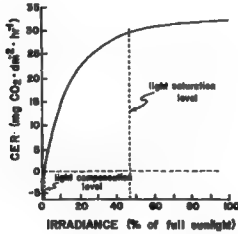
ان خلايا الورقة ليست بعيدة عن النسيج الوعائي الذي يسمح بانتقال سريع للماء والعناصر الغذائية الى خلايا التمثيل الضوئي ونواتج التمثيل الضوئي من الخلايا ومن الورقة (شكل ١ - ١٧) . ويؤدي تقليل حركة او انتقال المواد الاولية الى البلاستيدات الخضراء او النواتج من البلاستيدات الخضراء الى خفض معدل التمثيل الضوئي .

العوامل الضرورية للتمثيل الضوئي

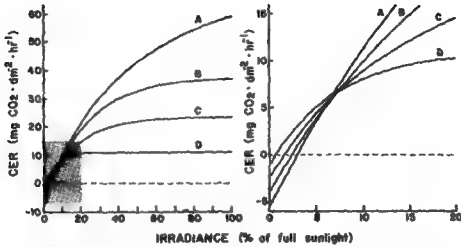
يعتبر الضوء وثاني اوكسيد الكربون ودرجة الحرارة العوامل المباشرة التي تؤثر على التمثيل الضوئي ، وسوف تناقش في هذا الفصل . كما يؤثر كل من الماء والعناصر المعدنية على التمثيل الضوئي ايضا وسوف تناقش بالتفصيل في الفصول القادمة .

الضوء

سبق وان تم شرح استقلال الضوء من قبل اسطح الورقة . وان منحنيات استجابة الضوء للورقة موضحة في شكل (١ - ١٩) وشكل (١ - ٢٠) . ان عدم وجود الضوء يعني عدم وجود تنفس الظلام ، والذي يمثل بالنسبة للورقة ٥ - ١٠ ٪ من ثاني اوكسيد الكربون الممتص بوجود الضوء . ويؤدي زيادة الضوء بصورة تدريجية الى زيادة التمثيل الضوئي الى مستوى التعويض الضوئي *light compensation level* وهو مستوى الضوء الذي يتعادل فيه ثاني اوكسيد الكربون الممتص مع ثاني اوكسيد الكربون المتحرر (معدل تبادل الكربون *carbon exchange rate* ، CER = صفر) . وعند استمرار زيادة مستوى الضوء تحصل زيادة اقل في معدل تبادل الكربون لكل زيادة في وحدة مستوى الضوء حتى الوصول الى مستوى الاشباع الضوئي *light saturation level* .



شكل (١ - ١٩) منحني استجابة الضوء لمعدل تبادل ثاني اوكسيد الكربون (CER) في ورقة النفل الاحمر (ثلثية الكربون) .



شكل (١-٢٠) منحنيات مثالية لاستجابة الضوء لأنواع مختلفة. الشكل الى اليمين يمثل المنطقة المظلمة في الشكل الى اليسار (A) أنواع رباعية الكربون (الذرة الصفراء والبيضاء والقصب السكري). (B) أنواع الشمس ثلاثية الكربون كفوة (فول صويا والقطن والحب) (C) أنواع الشمس ثلاثية الكربون أقل كفاءة (التبغ، النفل الأحمر، حشيش البساتين). (D) أنواع الطل ثلاثية الكربون (الأشجار الغشبية، نباتات الطل).

وان اية زيادة في مستوى الضوء بعد هذا المستوى سوف لا تؤدي الى زيادة معنوية في معدل تبادل الكربون. لذلك فان الاوراق تكون اكثر كفاءة في استخدام طاقة الضوء بمستويات الاشعاع المنخفض.

ان الانواع تختلف في استجابتها لمستويات الاضاءة. وتستطيع اغلب نباتات رباعية الكربون (شكل ١-٢٠، منحنى A) زيادة التمثيل الضوئي حتى بمستويات ضوء مساوية الى ضوء الشمس الكامل. بينما تصل انواع ثلاثية الكربون حالة التشبع بالضوء قبل ضوء الشمس الكامل. ويوضح شكل (١-٢٠) بانه كلما كان المعدل الاقصى لتبادل الكربون منخفضاً كلما كان مستوى الضوء الذي يحدث عنده الاشباع الضوئي قليلاً. ويجب ملاحظة انه بالرغم من ان نباتات رباعية الكربون لا تتشبع بالضوء احياناً وتستعمل مستويات ضوء افضل من انواع ثلاثية الكربون. الا انها تستعمل الضوء المعتم بكفاءة اعلى (امتصاص ثاني اوكسيد الكربون بوحدة الضوء) من الضوء الساطع. على سبيل المثال عند ٥٠ و ١٠٪ من ضوء الشمس الكامل يكون معدل تبادل الكربون تقريباً ٧٢ و ١٧٪ من معدل تبادل الكربون عند ضوء الشمس الكامل على التوالي. ان اعلى كفاءة لاستخدام الضوء بمعدل تبادل الكربون تكون دائماً عند مستويات الضوء المنخفضة. والكفاءة عبارة عن منحدر منحنى استجابة الضوء.

جدول (١ - ١) عدد وحجم الثغور لعدد من انواع المحاصيل

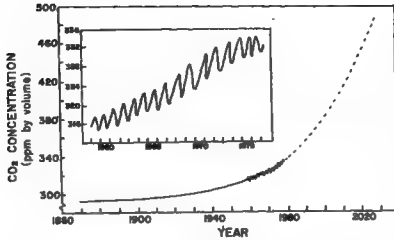
النوع	الاسم العلمي	البشرة العليا	البشرة السفلى	حجم فتحة الثغرة (مايكروبيتمتر)
البجت	١٦٩. <i>Medicago sativa</i> L.	١٧٨	—	—
التفاح	<i>Pyrus malus</i> L.	٢٩٤	—	—
الفاصوليا	٤٠ <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	٢٨١	٣ × ٧	٣ × ٧
اللهاية	١٤١ <i>Brassica oleracea</i> L.	٢٣٦	—	—
الخروع	٦٤ <i>Ricinus communis</i> L.	١٧٦	١٠ × ٤	١٠ × ٤
الذرة الصفراء	٥٢ <i>Zea mays</i> L.	٦٨	١٩ × ٥	١٩ × ٥
الشوفان	٢٥ <i>Avena sativa</i> L.	٢٣	٢٨ × ٨	٢٨ × ٨
البطاطا	٥١ <i>Solanum tuberosum</i> L.	١٦١	—	—
عباد الشمس	٨٥ <i>Helianthus annuus</i> L.	١٥٦	٢٢ × ٨	٢٢ × ٨
الطماطة	١٢ <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	١٣٠	١٣ × ٦	١٣ × ٦
الحنطة	٢٣ <i>Triticum sativum</i> L.	١٤	٢٨ × ٧	٢٨ × ٧

ثاني اوكسيد الكربون تركيزه في جو

يعتبر ثاني اوكسيد الكربون احد مكونات الهواء .

ويحتوي الهواء الجاف على ٧٨٪ نيتروجين (N_2) و ٢١٪ اوكسجين (O_2) و ٩٣٪ اركون (Ar) و ٠.٣٤٪ (٢٤٠ جزء بالمليون) ثاني اوكسيد الكربون ونسبة ضئيلة جداً من غازات اخرى . وبالرغم من ان ثاني اوكسيد الكربون يتواجد بتركيز منخفض فان ٨٥ - ٩٢ ٪ من وزن النبات الجاف يأتي من امتصاص ثاني اوكسيد الكربون بالتمثيل الضوئي .

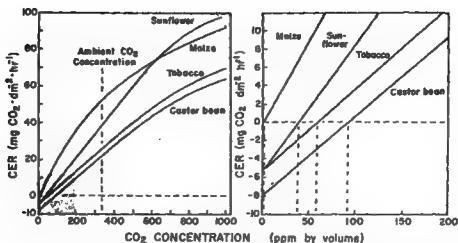
وبسبب حرق وقود المتحجرات fossil fuel (الذي يمثل انتاج التمثيل الضوئي لملائين سابقة من السنين) . وحرق الغابات فقد ازداد تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الغلاف الجوي (شكل ١ - ٢١) . وتدل الاحتمالات المستقبلية



شكل (١ - ٢١) ثاني اوكسيد الكربون في الجو المحيط بالكرة الأرضية من ١٨٦٠ - ١٩٧١ والمتوقع الى سنة ٢٠٢٠ على اساس الوقود المحترق . الشكل في الجهة العليا اليسرى يمثل الاختلاف الموسمي في ثاني اوكسيد الكربون المستخدم بالتمثيل الضوئي خلال موسم النمو وإطلاقه مرة أخرى خلال اشهر الخريف والشتاء .

لاستخدام وقود المتحجرات (الفحم الحجري بالدرجة الرئيسية) على حصول زيادة كبيرة في تركيز ثاني اوكسيد الكربون في المستقبل . وبما ان ثاني اوكسيد الكربون يسبب مايسمى تأثير البيت الزجاجي *greenhouse effect* بأمتصاصه حزم أشعة الضوء تحت الحمراء *infrared* فان تراكيزه العالية سوف تؤدي الى زيادة احتفاظ الأرض بالحرارة . والتي قد تزيد من درجة حرارة الكرة الأرضية وقد تؤثر مثل هذه الزيادة على نمط جو الكرة الأرضية الى حد تغيير نمط سقوط الامطار وقدرة انتاجية المحاصيل في مناطق عديدة من العالم (Williams 1979)

لقد اظهرت اغلب انواع المحاصيل استجابة خطية للتمثيل الضوئي في الورقة لمستويات ثاني اوكسيد الكربون اعلى من تركيزه في الهواء الخارجي ٣٤٠ جزء بالمليون (شكل ١ - ٢٢) . ويمكن زيادة حاصل نباتات المحاصيل بدرجة كبيرة في جو يحوي على تركيز اعلى من ثاني اوكسيد الكربون حتى الى ١٥٠٠ جزء بالمليون ومع ذلك فلا توجد طريقة عملية في الوقت الحاضر يمكن استعمالها لزيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون في ظروف الحقل . الا ان زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون في البيت الزجاجي قد اعطت فوائد كبيرة . فاضافة الى زيادة حاصل المادة الجافة فقد ادى الى تشجيع نمو وتكوين النبات . وانه لمن المشوق معرفة مساهمة الزيادة في تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الغلاف الجوي في المئة



شكل (٢٢ - ١) معدلات تبادل ثاني اوكسيد الكربون (CER) في اربعة انواع استجابة الى تركيز ثاني اوكسيد الكربون عند مستويات اشعة فعال للتشغيل الضوئي معادلة الكلور للشمس .

سنة السابقة (تقريبا من ٢٩٠ - ٣٤٠ جزء بالمليون) في زيادة حاصل نباتات المحاصيل وتأثيره على النضج .

مقاومة الورقة لتمثيل ثاني اوكسيد الكربون

Leaf Resistances to CO₂ Assimilation.

ينتقل دايي اوكسيد الكربون من الهواء الى البلاستيدات الخضراء بالانتشار diffusion خلال الثغور الى الخلية ثم الى البلاستيدة الخضراء وقد تحدث اعاقه لحركة ثاني اوكسيد الكربون من وإلى الورقة وقد اطلق العلماء عليها تعبير مقاومة resistances ويمكن قياسها كما يلي ،

$$r_{CO_2} = r_a + r_s + r_m$$

حيث ان r_{CO_2} = معدل تبادل ثاني اوكسيد الكربون

r_a = مقاومة الطبقة المحيطة

r_s = مقاومة الثغور

r_m = مقاومة نسيج الخلايا الوسطى .

مقاومة الطبقة المحيطة (r_a) عبارة عن تركيز ثاني اوكسيد الكربون عند سطح الورقة (ويسمى ايضا تأثير الطبقة المحيطة boundary layer effect) وكلما انخفض التركيز ازدادت المقاومة . وحيث ان تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الهواء

الخارجي يتراوح بين ٣٠٠ و ٣٦٠ جزء بالمليون . فان العوامل التي تسبب انخفاض التركيز سوف تؤدي الى زيادة مقاومة الانتشار بالطبقة المحيطة . وفي الحقل تعد حركة الهواء العامل الرئيسي الذي يؤثر على مقاومة الانتشار بالطبقة المحيطة . وعند عدم حدوث حركة للهواء فان امتصاص ثاني اوكسيد الكربون بالورقة سوف يؤدي الى حصول انحدار تدرج انتشار ثاني اوكسيد الكربون الذي يقلل تركيز ثاني اوكسيد الكربون عند سطح الورقة . اما زيادة حركة الهواء بالرياح فسوف تؤدي الى تقليل مقاومة الطبقة المحيطة الى ادنى مستوى عند اسطح اغلب الاوراق ضمن كساء النبات.

مقاومة الثغور (r_t) عبارة عن مقاومة انتشار ثاني اوكسيد الكربون من خارج الورقة خلال الثغور . هنا وتحوي لوراق المحاصيل عادة على اعداد كبيرة من الثغور الضرورية لكفاءة انتشار ثاني اوكسيد الكربون . ويعد العامل الرئيسي المؤثر على مقاومة الثغور هو درجة انفتاح الثغر . ولحساب مقاومة الثغور قاس علماء فسلجة المحاصيل فقد الماء من الورقة والذي هو مقياس لعاقة الثغور والانتشار . ومن السهل قياس مقاومة الثغور بأفتراض ان الرطوبة النسبية داخل الورقة تبقى قريبة من التشبع وان اي فقدان للماء يكون بسبب فتح الثغور ومقاومة الطبقة المحيطة .

وتحسب مقاومة خلايا النسيج الوسطي (r_m) على اساس المقاومة المتبقية لامتناس ثاني اوكسيد الكربون بالورقة ،

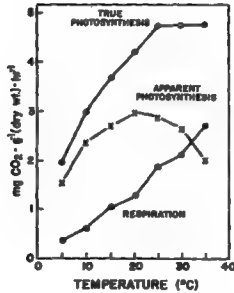
$$r_m = r_{CO_2} - r_s - r_e \quad (١-١)$$

ان مقاومة خلايا النسيج الوسطي عبارة عن قياس لجميع المقاومة الموجودة في الورقة التي تؤثر على امتصاص ثاني اوكسيد الكربون ماعدى مقاومة الطبقة المحيطة ومقاومة الثغور . وهذا بسبب ان اي عامل يؤثر على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون سوف يؤثر على تركيز ثاني اوكسيد الكربون في البلاستيدات الخضراء ، والذي بدوره يؤثر على معدل الانتشار الكلي لثاني اوكسيد الكربون من الهواء الخارجي الى البلاستيدات الخضراء .

تستعمل معادلة المقاومة (١-١) من قبل علماء فسلجة المحاصيل كطريقة لتحديد فيما اذا كان ثاني اوكسيد الكربون الممتص من قبل نباتات المحاصيل تتاثر بمقاومة انتشار ثاني اوكسيد الكربون الى الورقة (r_s و r_e) او بمقاومة تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في الورقة (r_m) .

درجة الحرارة

يجب فصل التمثيل الضوئي الى اجزاء مكوناته لتحديد استجابته الى درجة الحرارة . لا يعتمد كل من تفاعل الضوء والفسفرة الضوئية على درجة الحرارة في المدى الذي تنمو فيه النباتات . ويُنظم تفاعل تثبيت ثاني اوكسيد الكربون انزيمياً ويزداد بمعدل زيادة رفع درجة الحرارة حتى تصل مستوى ملائم لتغيير طبيعة الانزيم . وسوف تستمر معدلات التنفس بالزيادة بارتفاع درجة الحرارة . وقد اوضحت قياسات صافي معدلات تبادل الكربون استجابة قليلة جناً للمعدل تبادل الكربون لدرجة الحرارة (شكل ١ - ٢٣) . ويزداد التنفس الضوئي ايضاً بزيادة درجة الحرارة . حيث انه ينظم انزيمياً ويؤدي الى خفض معدلات تبادل الكربون لانواع ثلاثية الكربون وليس لانواع رباعية الكربون عند نمو النبات بدرجة الحرارة العالية .



شكل (١ - ٢٣) تأثير درجة الحرارة على التمثيل الضوئي في *Bryophyllum*. لاحظ بان التنفس يزداد ثمانية اضعاف واستمساك ثاني اوكسيد الكربون يزداد مرتين ونصف ، ومعدل تبادل ثاني اوكسيد الكربون يزداد مرتين الى اقصى حد ثم ينخفض . وهنا يبين بان صافي التمثيل الضوئي يبقى ثابت تقريباً في مدى درجة حرارة النمو .

الماء

ان الماء مادة اساسية للتمثيل الضوئي . الا ان ما يستعمله النبات بعملية التمثيل الضوئي حوالي ١٪ فقط من الماء الكلي . ويستهلك النتج حوالي ٩٩٪ من الماء الممتص بالنبات . ويستعمل حوالي ١٪ لتمية hydrate النبات والمحافظة على ضغط الامتلاء turgor pressure وجعل النمو ممكناً. ان التأثير الرئيسي لقلة الماء على معدل تبادل الكربون هو زيادة مقاومة الثغور . وذلك بسبب غلق الثغور . وعندما يصبح شد الماء كبير سوف تزداد ايضا مقاومة خلايا النسيج الوسطي بسبب الاضرار الدائمة لجهاز التمثيل الضوئي . وسوف يتم شرح تأثير الماء على التمثيل الضوئي بصورة تفصيلية في الفصل الرابع .

عمر الورقة وحالة المعادن

يؤثر عمر الورقة على التمثيل الضوئي . وتسبب الشيخوخة انخفاض في عملية التمثيل الضوئي . وان العامل الرئيسي الذي يؤثر على سرعة الشيخوخة هو حالة العناصر الغذائية للورقة . ان تجهيز كمية كافية من العناصر الغذائية يسمح للاوراق القديمة والحديثة بحد احتياجاتها الغذائية . اما في حالة وجود كمية محدودة من العناصر الغذائية فان افضلية التوزيع تكون للاوراق الحديثة مما يؤدي الى تقليل معدل التمثيل الضوئي في الاوراق القديمة .

وقد قاس Moss وPeaslee سنة ١٩٦٦ معدلات منخفضة للتمثيل الضوئي في أوراق النرة الصفراء السفلية . وكان هناك ارتباط بين المعدلات المنخفضة وبين المستويات المنخفضة من البوتاسيوم والفسفور والمغنيسيوم والتروجين (جدول ١ - ٢) . هذا وعندما تتوفر هذه العناصر بكميات قليلة فانها تنتقل من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة . مسببا سرعة كبيرة في تعميم ageing الاوراق القديمة او السفلية . اما العناصر الاخرى الاقل حركة او انتقال في النبات (مثل الكالسيوم والحديد) فبماكانها خفض التمثيل الضوئي في الاوراق الحديثة . بينما يزداد التمثيل الضوئي في الاوراق القديمة بسبب الزيادة المستمرة في محتوى الكالسيوم والحديد بمرور الوقت .

يؤثر انخفاض مستوى العناصر الغذائية على التمثيل الضوئي وذلك بتأثيره بصورة أساسية على اجهزة التمثيل الضوئي . على سبيل المثال . يحوي الكلورفيل على عنصري النتروجين والمغنيسيوم ، وعندما تكون جاهزيتها محدودة قد لايتكون

لكلورفيل . وتشمل جزيئات اصل او منشأ تمثيل الكلوروفيل على الحديد . ويؤدي عدم تواجده الى عدم تمثيل الكلوروفيل . وسوف يتم مناقشة تأثير العناصر الغذائية بصورة تفصيلية في الفصل الخامس .

جدول (١ - ٢) محتوى البوتاسيوم والتمثيل الضوئي لاوراق القردة الصفراء .

رقم الورقة (من الاعلى)	محتوى البوتاسيوم (مايكروغرام / غرام وزن رطب)	التمثيل الضوئي (سم ^٢ / ساعة)
٢	٦١٠٠	٤٠
٤	٥٥٠٠	٣٨
٧	٥٠٠٠	٣٦
١١	٤٣٥٠ /	٣٦
نقص البوتاسيوم		
٢	٢١٥٠	٣٣
٦	٨٠٠	١٥
٧	٦٠٠	١٤
١١	٢٥٠	١

المصدر Peaslee and Moss 1966

ملاحظة - كانت الظروف البيئية عند هذه الامثلة عالية ودرجة حرارة ٣٠ م .

الاختلافات في معدلات التمثيل الضوئي بين الانواع وضمنها

يبين شكل (١ - ٢٠) معدلات تبادل ثاني اوكسيد الكربون (التمثيل الضوئي) او استجابة للضوء . حيث يمثل المنحنى (A) استجابة مثالية لانواع المحاصيل ذات مسار رباعية الكربون . ويمثل المنحنين C, B استجابة انواع المحاصيل ذات مسار ثلاثية الكربون . ويمثل المنحنى (D) استجابة نباتات ثلاثية الكربون المتكيفة لظروف الظل . وهذه تشمل على بعض الاشجار الخشبية ونباتات منزلية . ان النباتات ذات استجابة من نوع (D) تحوي عن ثغور في الجهة السفلى من الاوراق فقط (وليس السبب الرئيسي في وجود معدلات تمثيل ضوئي

منخفضة) وهي غير كفوءة في انتاج المادة الجافة . ان انواع المحاصيل التي فيها استجابة معدلات تمثيل ضوئي (D) هائلة ان وجدت .

لقد اوضحت دراسات عديدة بان الاصناف ضمن النوع تختلف في معدلات تبادل ثاني اوكسيد الكربون (جدول ١ - ٣) . حيث يتراوح معدل امتصاص ثاني اوكسيد الكربون ضعف او ثلاثة اضعاف بين اقل واعلى النماذج . وهنا قد شجعت التوقعات بان الحاصل قد يزداد بالانتخاب وتكوين مجتمعات ذات معدلات امتصاص عالية لثاني اوكسيد الكربون .

وحيث ان نباتات رباعية الكربون ذات معدل عالي لتمثيل ثاني اوكسيد الكربون وهي من ضمن الانواع ذات الانتاجية العالية (كالنرة الصفراء والذرة البيضاء والقصب السكري) لذا فان تحويل آلية تمثيل نباتات رباعية الكربون الى ثلاثية الكربون صفة مرغوب بها . لقد جرت محاولات عديدة مع فول الصويا والشعير وعدد اخر من المحاصيل لتحديد فيما اذا كانت هناك وجود لآلية (C_4) في انواع محاصيل (C_3) . الا ان جميع هذه المحاولات لم تنجح . وربما تستخدم طرق اخرى في المستقبل لتحويل نباتات انواع (C_3) الى (C_4)

جدول (١ - ٣) تباين التمثيل الضوئي بين انواع منتجة

النوع	الموقع	التمثيل الضوئي (ملغم CO_2 / سم ² / ساعة)
الذرة الصفراء	نيويورك	٢١ - ٥٩
	الفلبين	٢٨ - ٨٥
	أيو	٢٢ - ٥٢
فول الصويا	أيو	٢٩ - ٤٣
	البنويز	٧٢ - ٢٤
الجب	ميرلاند وليس واحد	٢٨ - ٦٠

استخدام نواتج التمثيل الضوئي من قبل النبات

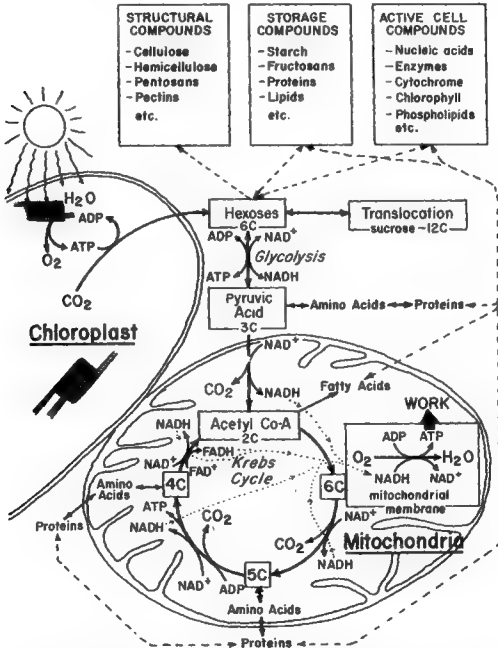
في الخزن والتركيب

وبالرغم انه من المناسب اعتبار نهاية التمثيل الضوئي بتكوين السكر السداسي hexose sugar الا انه قد تحدث تغيرات كثيرة اخرى . فقد يتحول السكر السداسي مباشرة الى كلوكوز وفركتوز او قد يتحدان لتكوين السكروز للانتقال الى خلايا اخرى لوتبلمر (polymerize) لتكون النشاء الذي يخزن بصورة مؤقتة في البلاستيدات . وقد يستعمل السكروز لتوسيع جدران الخلايا . والذي قد يتحول الى مكونات تركيبه مثل السيلولوز وقد ينتقل السكروز الى مناطق اخرى في النبات فعالة النمو (مرستيمات) او الى مناطق يتحول فيها الى سكريات عديدة كمرکبات خزن او مركبات تركيبه .

التنفس والنمو RESPIRATION AND GROWTH

قد تدخل السكريات السداسية في النظام التنفسي للخلية حيث تتحلل لاطلاق الطاقة او تتحول الى مركبات عضوية تستعمل في تراكيب او بالعمليات الايضية او مركبات خزن (شكل ١ - ٢٤) . ان الخطوة الاولى هي عملية التنفس اللاهوائي المسماة بالتحلل السكري (glycolysis) والتي يتكون فيها النيكليتيادات المختزلة و ATP للقيام بعمل في الخلايا بأنقسام سكر الفوسفات السداسي الى حامض البيروفيك pyruvic acid . ثم يفقد حامض البيروفيك جزيئة كاربون من خلال تأكسده الى ثاني اوكسيد الكاربون واختزال NAD^+ وحيث ان نيكوتين اميدادينيبن داي نيكليد [NADH] المختزل يستعمل لاختزال الاوكسجين (O_2) الى ماء (H_2O) ان عملية انتاج واستعمال ($NADH$) تسمى بالتنفس الهوائي (aerobic respiration) . ويتكون خلاات المرافق الانزيمي - أ. (acetyl-coA) . ويدخل خلاات المرافق - أ دورة كريس Krebs cycle . باتحاده مع مركب ذو اربعة جزيئات كاربون من دورة كريس . ليكون مركب ذو ستة جزيئات كاربون . وفي دورة كريس تتأكسد جزيئات كاربون كثيرة الى ثاني اوكسيد الكاربون والذي يرتبط باختزال NAD^+ . وبنفس الوقت تستعمل المركبات او الطاقة المنتجة بدورة كريس لتكوين ونقل الاحماض الامينية

والاحماض النووية لتمثيل البوليمر polymer (مثل البروتينات RNA و DNA)
وتأتي هذه الطاقة من اكسدة NADH التي ترتبط باختزال O_2 الى H_2O وفسفرة
الـ ATP باضافة فسفور غير عضوي (Pi) لتكوين ADP (شكل ١ - ٢٤) .



شكل (١ - ٢٤) مخطط يوضح العمليات الايضية الثلاثة في التنفس في النبات تحلل السكر (glycolysis) دورة كريبس ، والفسفرة التأكسدية اضافة الى ان التنفس يؤدي الى انتاج ATP و NADH ينتج ايضا مركبات لبناء السكر ومركبات اكثر تعقيداً لتكوين تراكيب عديدة في النبات وفي العمليات الايضية والتخزين .

وبما ان الاكجين يستعمل في هذه العملية لذا فانها تسمى بالفسفرة التأكسدية *oxidative phosphorylation* تحدث دورة كريبس في الميتاكوندريا *mitochondria* . وتحدث الفسفرة التأكسدية داخل اغشية الميتاكوندريا وان هذا الغشاء مشابه جدا لاغشية البلاستيدات الخضراء (شكل ١ - ١٠) ماعدى انها لا تحوي على صبغات التمثيل الضوئي . وتستعمل الفسفرة التأكسدية بنظام نقل الكترونات بطريقة مشابهة الى الفسفرة الضوئية وان البروتينات الرئيسية المشتركة في هذا التفاعل هي السايتركرومات *cytochromes* .

وبالرغم من وجود تشابه كبير بين التمثيل الضوئي والتنفس ، وهي تفاعلات متعاكسة بطريقة عديدة (جدول ١ - ٤) . ويستعمل كلاهما الطاقة للتمثيل . الا ان التنفس يجب ان يستعمل جزيئات عضوية للحصول على الطاقة للقيام بالعمليات (كتمثيل مركبات الخزن والتركيب والمركبات الايضية والعمليات الاخرى مثل الانتقال ونقل العناصر عبر الاغشية) . يستعمل التنفس الطاقة من التمثيل الضوئي للقيام بعمله . ويؤدي التمثيل الضوئي الى زيادة الوزن الجاف للنبات بسبب امتصاص ثاني اوكسيد الكربون وبالتالي تقليل وزن النبات الجاف . وتعد كلا العمليتين ضروريتين . التمثيل الضوئي لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون وانتاج السكريات السداسية ، والتنفس لتحويل السكريات السداسية الى مركبات تركيبية

جدول (١ - ٤) . مقارنة بين التمثيل الضوئي والتنفس

الموضوع	التمثيل الضوئي	التنفس
الفسفرة	الفسفرة الضوئية تستعمل الطاقة الضوئية	الفسفرة التأكسدية تستعمل الطاقة الكيميائية
اختزال النيكلايد	يتكون <i>NADPH</i> بالطاقة الضوئية ويستعمل لاختزال ثاني اوكسيد الكربون	يتكون <i>NADH</i> باكسدة الكربون لاختزال الاوكسجين
ثاني اوكسيد الكربون	مادة تفاعل	نتائج
الماء	مادة تفاعل	نتائج
الاوكسجين	نتائج	مادة تفاعل
المركبات العضوية	نتائج	مادة تفاعل

وخزنية وايضه يحتاجها النبات في النمو والتطور . وينصب اهتمام علماء فيولوجيا المحاصيل لجمع كلا العمليتين كفاءة قدر المستطاع . فبالنسبة للتمثيل الضوئي يكون باستعمال طاقة الضوء بأعلى كفاءة ممكنة وبالنسبة للتنفس باستعمال الطاقة المعقدة لتكوين نباتات محاصيل كفاءة الانتاج قدر المستطاع .

كم هي كفاءة التنفس ؟ قبل الاجابة على هذا السؤال يجب اختبار انتاج واستعمال الـ ATP . ان التنفس مشابه الى بطارية خزن الطاقة ربما تطلق او تحرر الى جزيئات أخرى والتي بدورها تكتسب الطاقة وذات فعالية عالية .

يمطي الاحتراق السريع للطاقة المخزونة في محرك ما طاقة تحرر على شكل حرارة وتحول الطاقة المخزونة الى عمل مفيد وبكفاءة قدرها حوالي ٣٥ ٪ وبالمقارنة فان الطاقة في عملية التنفس تطلق بصورة بطيئة وتشحن هذه الطاقة الى مواد التفاعل بعملية الفسفرة وتم جمع العمليات في خطوات بسيطة متعددة بمساعدة الانزيمات تحت ظروف حرارية ثابتة . على سبيل المثال يتحول الكلوكوز بصورة كاملة الى ثاني اوكسيد الكاربون بحوالي ٣٠ خطوة

(كيلو سعة) $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 637$ (خطوة ٣٠) $6CO_2 + 6H_2O + 637$ (كيلو سعة) .

تشمل هذه الخطوات على عملية التحلل السكري glycolysis ودورة كربس . وفي كلا العمليتين ومع الفسفرة التأكسدية يتفسر ٣٨ جزيئة من الـ ATP وبما ان كل جزيئة من الـ $ATP = ١٢$ كيلو سعر kcal لذا فان ٣٨ جزيئة من الـ ATP تولد ٤٥٦ كيلو سعر . ويمكن حساب الكفاءة بقسمة المتولد الفعلي على الطاقة الكامنة اي ، $\frac{456}{637} = ٧١ \%$ كفاءة .

ان هدف الزراعين هو اقتران انتاج الطاقة في الـ ATP مع اعل كفاءة في نظام وتطور النبات . والمحصلة النهائية هي انتاج اعل حاصل ممكن بوحدة مساحة الارض .

تقدير اعل معدلات لنمو المحصول

Estimating Maximum Crop Growth Rates

يعد نمط الاشعاع الشمسي في منطقة معينة والذي يبقى ثابتا من سنة الى اخرى المحور الرئيسي لفئة المحصول . لقد قدم Williams و Loomis تحليلاً جيداً للحد الاقصى الممكن انتاجه من المادة الجافة باستعمال مستويات طاقة شمسية كاملا محدد (جدول ١ - ٥) (على اساس اشعة شمسية لمدة ١٠٠ يوم من ١ حزيران الى ١

جدول (١ - ١٥) حساب القدرة الانتاجية اليومية بمطحن العصور

١ - اشعة الشمس الكلية	٥٠٠ سمرة / سم ^٢
٢ - الضوء المرئي (٤٠٠ - ٧٠٠ نانوميتر) % ٤٤	٢٢٢ سمرة / سم ^٢
٣ - مجموع الكوتنا في مجال الضوء المرئي (حوالي)	٤٢٠ ميكرواينشتين / سم ^٢
١٩,٥ ميكرواينشتين / سمرة)	
أ - الفقد بالانمكاس ٦ - ١٢ % من طيف الضوء المرئي	٣٦٠ ميكرواينشتين / سم ^٢
ب - الضوء الممتص غير الفعال = % ١٠	٤٢٢ ميكرواينشتين / سم ^٢
(مثل جدران الخلايا)	
٤ - مجموع الكوتنا المفيدة الممتصة في مجال الضوء المرئي والجاهزة للتمثيل الضوئي .	٣٥٧٨ ميكرواينشتين / سم ^٢
٥ - كمية CO ₂ المختزلة (١٠ كوند ل لكل	٣٥٢ ميكرومول - سم ^٢
جزيرة CO ₂ تختزل)	
٦ - الفقد بالتنفس (% ٢٢)	١١٦ ميكرومول / سم ^٢
٧ - صافي انتاج CH ₃ O (انتاج جزيرة CH ₃ O لكل جزيرة CO ₂ ٢٢٧ مول - سم ^٢ مختزلة	
٨ - تحويل ميكرومول / سم ^٢ الى غم / سم	٢,٣٧ مول / م ^٢
أ - ٢٢٧ سم ^٢ = ٢٢٧ . ٠٠٠ مول / سم ^٢	٧١ غم / م ^٢ / يوم
ب - CH ₃ O = ٣٠ غم / مول × ٢,٣٧ مول / سم ^٢	
٩ - اذا كان CH ₃ O يكون ٩٢ % من الوزن الجاف / والمركبات المضوية تكون ٨ % فان المادة الجافة	٧١ غم / سم ^٢ / يوم
الكلية	٧١ غم / م ^٢ / يوم
٠,٩١	
٧٧ غم / م ^٢ / يوم = ١٨٧ باون / ايكرو / يوم	
= ٣٤,٣٥ طن في موسم زراعي مدته ١٠٠ يوم	

المصدر Loomis and Williams 1963

III الفقد بالتنفس جارة عن تقدير - وتتلوح قيم القياس بين ٢٥ - ٥٠ %

أيلول ١٩٦٠ في منطقة ماني الولايات المتحدة) . وقد اختاروا بتخفظ ٥٠٠ سم^٢ / اليوم حولت الى مايكرواينشتين micro-Einsteins
و قد استخدموا افتراضات عديدة اخرى ،

- ١ - تعترض البلاستيدات ٨٢ ٪ من الضوء المرئي .
 - ٢ - اعلى كفاءة للكونتم هي ١٠ ٪ (يتطلب اختزال جزيئة واحدة من ثاني اوكسيد الكاربون ١٠ فوتونات) .
 - ٣ - يتحرر بعملية التنفس ٣٣ ٪ من ثاني اوكسيد الكاربون المختزل بالتمثيل الضوئي واستطاعوا باستعمال هذه الافتراضات ان يقدروا الحد الاعلى للزيادة اليومية في الوزن الجاف بمقدار ٧٧ غم / م^٢ / يوم التي يطلق عليها معدل نمو المحصول crop growth rate (CGR) يعني هذا التقدير بان كفاءة تحويل الطاقة ٥.٣ ٪ من الاشعاع الشمسي الكلي و ١٢ ٪ من الضوء المرئي .
- وعند مقارنة الحد الاعلى لمعدل نمو المحصول ٧٧ غم / م^٢ / يوم مع القياسات الحقيقية لمعدل نمو المحصول لمدة قصيرة نجد ان بعض المحاصيل قادرة على انتاج ٦٠ ٪ من الحد الاعلى المقدر تحت ظروف مثالية (جدول ١ - ٦) .

الخلاصة

يعد الاشعاع الشمسي مصدر الطاقة لنباتات المحاصيل . وتأخذ النبات الطاقة الشعاعية وتحولها الى طاقة كيميائية . وان اولى المركبات الكيميائية التي تتكون هي النيكلوتيدات المختزلة والـ ATP . وتقوم هذه المركبات التي تبقى لمدة قصيرة بتحويل ثاني اوكسيد الكاربون الى مركبات عضوية ثابتة (مستقرة) . ويوجد نظامين لتحويل الكاربون الى مركبات عضوية في النبات . ويظهر بان انواع ثلاثية الكاربون اقل كفاءة في التمثيل الضوئي من انواع رباعية الكاربون اساسا بسبب وجود التنفس الضوئي فيها .

تؤثر العوامل البيئية مباشرة على معدلات التمثيل الضوئي مثل الضوء وثاني اوكسيد الكاربون والماء وحالة العناصر الغذائية وذلك بتاثيرها اما على تفاعل الضوء او انظمة تحويل الكاربون الى مركبات عضوية في البلاستيدات الخضراء .

جدول (٦ - ٦) . الحد الأقصى لمعدل نمو المحصول لفترات قصيرة لمدة من انواع المحاصيل .

النوع	الاسم العلمي	نوع معدل ثاني أكسيد الكربون	الحد الأقصى لمعدل نمو المحصول
الجبث	<i>Medicago sativa</i>	C ₃	٣٣
حشيش بيرمودا	<i>Cynodon dactylon</i>	C ₄	٢٠
Cattail	<i>Typha latifolia</i>	C ₃	٣٤
النرة الصفراء	<i>Zea mays</i>	C ₄	٥٢
البدخن	<i>Pennisetum typhoides</i>	C ₄	٥٤
الاناناس	<i>Ananas comosus</i>	CAM	٢٨
البطاطا	<i>Solanum tuberosum</i>	C ₃	٣٧
الرز	<i>Oryza sativa</i>	C ₃	٣٦
فول الصويا	<i>Glycine max</i>	C ₃	٧
الحشيش السوداني	<i>Sorghum vulgare</i>	C ₄	٥١
البنجر السكري	<i>Beta vulgaris</i>	C ₃	٣٦
القمص السكري	<i>Saccharum officinarum</i>	C ₄	٣٨

ملاحظة / يجب مقارنة معدلات نمو المحصول هذه مع المعدل ٧٧ سم / م / يوم المحسوب من قبل Loomis و Williams كحد أقصى لمعدل نمو المحصول عند اشعاع شمسي مقداره ٥٠٠ سم / م / يوم . ومع ذلك فان بعض هذه المحاصيل كانت نامية بطروف فيها معدل الاشعاع الشمسي قريب من ٧٠٠ سم / لفترة القلياس . والتي تزيد معدل نمو المحصول الممكن انتاجية الى ١٠٠ سم / م / يوم .

المصدر . Loomis and Williams 1963, Evans 1975, and Monteith 1978.

تختلف معدلات التمثيل الضوئي كثيراً بين الانواع وتكون عادة ذات ارتباط بالبيئة المتأقلمه لها . وتمتد انواع المحاصيل من بين انواع النباتات الاكثر كفاءة . وتختلف معدلات التمثيل الضوئي للورقة بين اصناف النوع الواحد . وهذا يؤكد امكانية زيادة غلة المحاصيل ونوعيتها وذلك بانتخاب نباتات ذات معدلات تمثيل ضوئي عالية .

تستعمل منتجات التمثيل الضوئي في الخزن والتركيب والتنفس والنمو . ولكفاءة النبات في توزيع منتجات التمثيل الضوئي الى هذه المكونات المختلفة تأثير مهم على الحاصل .

وعند اعتبار الضوء العامل الرئيسي المحدد فان الحد الاقصى لمعدل نمو المحصول قدر بحوالي ٧٧ غم / م^٢ / يوم . وهذا يمثل كفاءة مقدارها ١٣ ٪ من طاقة الضوء المرئي .

References

- Anderson, J.M. 1975. *Biochim. Biophys. Acta* 416:191-235.
- Balegh, S. E., and O. Biddulph. 1970. *Plant Physiol.* 46:1-5.
- Bassham, J. A., and M. Calvin. 1957. *The Path of Carbon in Photosynthesis*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Crosbie, T. M., J. J. Mock, and R. B. Pearce. 1977. *Crop Sci.* 17:511-14.
- Curtis, P. E., W. L. Ogren, and R. H. Hageman. 1969. *Crop Sci.* 9:323-27.
- Dornhoff, G. M., and R. M. Shibles. 1970. *Crop Sci.* 10:42-45.
- Evans, L. T. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Goldsworthy, A. 1970. *Bot. Rev.* 36:321-40.
- Hatch, M. D., and C. R. Slack. 1966. *Biochem. J.* 101:103-11.
- Heichel, G. H., and R. B. Musgrave. 1969. *Crop Sci.* 9:483-86.
- Hesketh, J. D. 1963. *Crop Sci.* 3:493-96.
- Hitz, W. D. 1978. Ph.D. diss., Iowa State University, Ames.
- Kellogg, W. W. 1977. *World Meteorol. Org. Tech. Note* 156. Geneva.
- Loomis, R. S., and W. A. Williams. 1963. *Crop Sci.* 3:67-72.
- Meyer, B. S., D. B. Anderson, and R. H. Bohning. 1960. *Introduction to Plant Physiology*. New York: Van Nostrand.
- Monteith, J. L. 1978. *Exp. Agric.* 14:1-5.
- Pearce, R. B., G. E. Carlson, D. K. Barnes, R. H. Hart, and C. H. Hanson. 1969. *Crop Sci.* 9:423-26.
- Peaslee, D. E., and D. N. Moss. 1966. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:220-23.
- Stalfelt, M. G. 1937. *Planta* 27:30-60.
- Stifel, F. B., R. L. Vetter, R. S. Allen, and H. T. Horner, Jr. 1968. *Phytochemistry* 7: 355-64.
- Williams, J. 1979. *Carbon Dioxide, Climate and Society*. New York: Pergamon.
- Woodwell, G. M. 1978. *Sci. Am.* 238:23-43.

تثبيت الكربون بواسطة الكساء الخضري للمحاصيل

Carbon Fixation by Crop Canopies

تنتج المادة الجافة الكلية للمحاصيل الحقلية من تراكم صافي تمثيل ثاني اوكسيد الكربون خلال موسم النمو . ويكون ان تمثيل ثاني اوكسيد الكربون ناتج من امتصاص الطاقة الشمسية وان الطاقة الشمسية لا تتوزع بصورة منتظمة على سطح الكرة الأرضية . لذا فان العوامل الرئيسية التي تؤثر على حاصل المادة الجافة الكلية هي امتصاص الطاقة الشمسية وكفاءة استخدامها في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون .

لقد سبق وان شرح تمثيل ثاني اوكسيد الكربون على المستوى تحت الخلوي والخلوي والنسجي في الفصل الاول . وقد وفرت التجارب المسيطر عليها تحت الظروف المختبرية معلومات تفصيلية لتمثيل ثاني اوكسيد الكربون عند هذه المستويات . الا ان المعلومات المتوفرة حول تثبيت ثاني اوكسيد الكربون على مستوى المجتمع النباتي للمحاصيل قليلة . وتشكل المحاصيل المشاكل التالية (١) تغيير العوامل البيئية (العوامل البيئية الخارجية الصغرى والكبرى) في مجتمعات المحاصيل بصورة مستمرة (على سبيل المثال التغيير الموسمي في الاشعاع ، جاهزية العناصر الغذائية ، تركيز الاوكسجين حركة الهواء) (٢) استجابة النباتات للبيئات الزراعية المعقدة بطرق عديدة مختلفة . وسوف يتم توضيح اعتراض الضوء بالكساء الخضري وعلاقته بإنتاجية المحاصيل

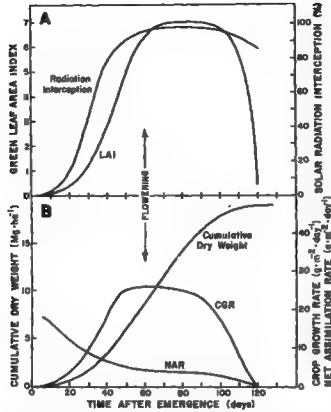
المساحة الورقية واعتراض الاشعاع الشمسي

Leaf Area, Interception of Solar Radiation, and Crop Growth

لكي يستطيع المحصول استخدام الاشعة الشمسية بكفاءة يجب ان يمتص اعدب الاشعة بانسجة التمثيل الضوئي الخضراء . وتعد الاوراق العضو الرئيسي لامتصاص الضوء والتمثيل الضوئي في نباتات المحاصيل وهي تتكون اما من الاجنة في البنور او من الانسجة المرستيمية في السيقان . وتحافظ بعض المحاصيل المعمرة على غطاء ارضي شبه كامل (تقليل المساحة الارضية بواسطة الاوراق على مدار السنة في المناطق ذات المناخ الاستوائي او شبه الاستوائي .

الا ان درجات الحرارة المنخفضة في الشتاء في المناطق المعتدلة تؤدي الى توقف نمو هذا الغطاء . وفي الربيع عندما تكون درجات الحرارة ملائمة للنمو يتكون كساء من الاوراق الجديدة من البراعم الساكنة التي تحصل على الغذاء الضروري للنمو من الغذاء الاحتياط المخزون . وتعد البراعم التي تكون في حالة سكون خلال فترة الشتاء في المحاصيل المعمرة الاعضاء التي تعيد النمو من جديد .

اما الانواع الحولية فان الاوراق الجديدة تتكون من البادرات وتكون صغيرة في بداية نمو المحصول حيث ينتج عن ذلك امتصاص الاشعة الشمسية بسطح التربة مولدا رفع درجة حرارة التربة . ويكون النمو البدائي في المحاصيل ذات الكفاءة العالية منصبا على توسيع المساحة الورقية التي تزيد من كفاءة استخدام الطاقة الشمسية وقد استخدم الكثير من العمليات الزراعية لزيادة اعتراض ضوء الشمس مثل اضافة الاسمدة والكثافات النباتية العالية والتوزيع المنتظم للنباتات بين خطوط الزراعة ، (على سبيل المثال الزراعة على مسافات ضيقة بين الخطوط narrow rows). يوضح شكل (٢- ١) تكوين المساحة الورقية في المحاصيل الحولية محددة النمو (النمو الخضري يتوقف عند التزهير) . وكلما يزداد تكوين الاوراق يزداد اعتراض الاشعة الشمسية . وتتكون المساحة الورقية في المراحل الاولى من النمو بمعدل اسّي exponential ونظرا لان المساحة الورقية في بداية النمو تكون صغيرة لذا فان اعتراض الضوء لا يكون بشكل معنوي لعدة اسابيع . وبما ان التزهير يؤدي الى ايقاف نمو او زيادة المساحة الورقية . لذا فان اهداف العمليات الزراعية يجب ان تعمل على زيادة التمثيل الضوئي عن طريق اعتراض كامل للاشعة الضوئية .



Mg1

شكل (١-٢) التكوين الموسمي لمحصول جوي، حولي، محدد النمو. لاحظ العلاقة القوية بين دليل مساحة الأوراق (LAI) وإعراض الضوء ومعدل نمو المحصول (CGR). إن هذه المنحنيات المتشابهة تقارب المنحنيات التي تم الحصول عليها من الدراسات الحقلية إلا أن العوامل البيئية (وخاصة الضوء ودرجة الحرارة والضوء) تتغير باستمرار وتؤدي إلى حدوث استجابة. (بعض تحويلات الوحدات الوزنية: ميكالغرام/هكتار = ١٠٠٠ كغم / هكتار = ١٠٠ غم / م² = ٨٩٧ باون / أكر).

ويعمد هذا نمط أو نموذج كفاءة للمحاصيل الحبيبية (المزروعة لأجل المحصول على البنور) والتي فيها يتكون أغلب وزن البنور من التمثيل الضوئي بعد التزهير.

يوجد تنافس قليل بين النباتات في المراحل الأولى لذا فإن النمو يكون اسمي موضحا بمعدل النمو النسبي *relative growth rate* (انظر الفصل الثامن) الذي يكون على أساس معدل الزيادة في المادة الجافة وعلاقتها بوزن المادة الجافة للنبات أو للمحصول الكلي. وعندما تتكون المساحة الورقية وتوجد أوراق سفلية مظلمة فإن وصف نمو المحصول يكون على أساس المساحة الورقية أو مساحة الأرض بدلا من النباتات الفردية. لقد استخدم سنة ١٩٤٧ تعبير دليل المساحة الورقية (LAI) leaf area index والذي يعبر عن نسبة مساحة الورقة (وجه واحد

فقط) الى مساحة الارض التي يشغلها . وبسبب ان الاشعة الشمسية تتوزع بشكل متساوي على سطح الارض لنا فان دليل المساحة الورقية يقيس المساحة الورقية بوحدة الاشعة الشمسية الجاهزة او المتوفرة .

دليل المساحة الورقية ومعدل انتاج المادة الجافة

LEAF AREA INDEX AND RATE OF DRY MATTER PRODUCTION

معدل نمو المحصول Crop Growth Rate

ان مفهوم تحليل النمو الذي سوف يناقش في الفصل الثامن يجب ان يقدم هنا لفرض تسهيل مناقشة الحاصل في الكساء النباتي . ان افضل معنى لتحليل نمو الكساء الخضري للمحاصيل هو تراكم المادة الجافة بوحدة المساحة بفترة زمنية معينة ، او بمعدل نمو المحصول *crop growth rate (CGR)* . يتم قياس معدل نمو المحصول بحصاد مجتمع من المحصول (اخذ عينات) بفتوات معينة وحساب الزيادة في الوزن الجاف من عينه الى اخرى . وعادة يعبر عنه بوحدهات مثل غم / م² (من مساحة الارض) / اليوم . ونظريا يجب قياس جميع الانسجة الحية للمحاصيل النامية والموجودة في مساحة العينة المدروسة . الا ان الصعوبات في اخذ عينات الجنور ادى الى ترك استخدامها في دراسات معدل نمو المحصول . ان معدلات نمو الانواع المختلفة ذات علاقة كبيرة مع الاشعة الشمسية المعترضة (شكل ١ - ٢) .

معدل صافي نواتج التمثيل Net Assimilation Rate

بما ان اسطح الاوراق هي العضو الرئيسي الذي تتم فيه عملية التمثيل الضوئي في النبات فيفضل التعبير عن النمو احيانا على اساس المساحة الورقية ويسمى معدل تراكم المادة الجافة بوحدة مساحة الورقة بوحدة الوقت بمعدل صافي نواتج التمثيل *net assimilation rate (NAR)* وعادة يعبر عنه غم / م² (مساحة الورقة / اليوم) . ويقيس معدل صافي نواتج التمثيل معدل كفاءة التمثيل الضوئي للاوراق في نباتات المحصول . وعندما تكون النباتات صغيرة حيث ان اغلب الاوراق معرضة بصورة مباشرة لضوء الشمس فإن الـ NAR يكون عالي . وعندما ينمو المحصول ويزداد دليل المساحة الورقية وتصبح اوراق كثيرة مظلة بسبب انخفاض

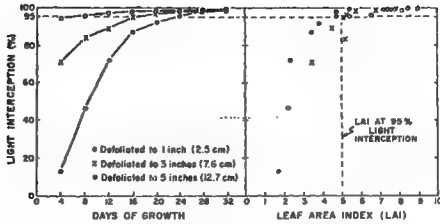
في معدل صافي النواتج كلما تقدم موسم النمو (شكل ٢ - ٢١ . تمتص الاوراق الحديثة في قمة الكساء الخضري للمحصول ذو دليل المساحة الورقية العالية اغلب الاشعة الساقطة عليها وتكون ذات معدل صافي نواتج تمثيل عالي . وتصدر هذه الاوراق كميات كبيرة من نواتج التمثيل الى اجزاء النبات الاخرى . بالمقارنة . نجد بأن الاوراق القديمة في الجزء السفلي في الكساء الخضري في ظروف التظليل تكون ذات معدلات منخفضة لصافي نواتج التمثيل وتكون مساهمتها بنواتج التمثيل لاجزاء النبات الاخرى قليلة . ولا يدخل في حساب معدل صافي نواتج التمثيل المواد المتمثلة بالاجزاء غير الورقية . اي التمثيل الضوئي في الاجزاء النباتية الاخرى غير الورقية (على سبيل المثال السويقة او عنق الورقة *petiole*) والسيقان والاعمة والاجزاء الزهرية المختلفة) والتي قد تساهم بدرجة مهمة او كبيرة في حاصل المحصول (انظر الفصل الثالث) .

يقيس معدل صافي نواتج التمثيل NAR متوسط معدل صافي تبادل ثاني اوكسيد الكربون بوحدة المساحة الورقية في كساء النبات . لذا فعند ضرب معدل

صافي نواتج التمثيل بدليل المساحة الورقية (LAI) ينتج معدل نمو المحصول CGR .

دلائل المساحة الورقية البهرجة والمثالية LEAF AREA INDEXES دليل المساحة الورقية البهرجة

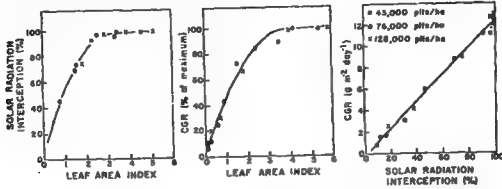
يوجد نوعين من العلاقة بين معدل نمو المحصول ودليل المساحة الورقية فقد وضع Brougham سنة ١٩٥٦ في نيوزيلاندا فرضية تنص انه بالامكان البقاء او المحافظة على كمية كافية من المساحة الورقية في المراعي لاعتراض اغلب الاشعة الشمسية . ويجب المحافظة على اعلى معدل نمو . ولفحص هذه الفرضية اجري Brougham دراسة على مخلوط علقي من حشيش الشيلم والبرسيم حيث استعملت ثلاثة معاملات هي القطع بمستوى ١٢.٧ و ٧.٦ و ٢.٥ سم . وتم قياس المادة الجافة ودليل المساحة الورقية واعتراض الضوء في الكساء الخضري كل اربعة ايام لمدة ٣٧ يوماً بعد القطع . فوجد بان المعاملة للمقطوعة على ارتفاع ١٢.٥ سم قد اعترضت ٩٥٪ من الاشعة الشمسية مباشرة بعد القطع بينما اعترضت النباتات المقطوعة على ارتفاع ٢.٥ سم اقل من ٢٠٪ من الاشعة الشمسية (شكل ٢ - ٢) . ووضح



شكل (٢ - ٢) : كميات مأخوذة من مغاليط طفنية للنفل وحشيش الشليم . (يسار) اعتراض الضوء بالأيام بعد العشب بثلاث مستويات قطع . (يمين) معدل نمو المحصول وعلاقته بدليل مساحة الأوراق الناتج من المادة المجافة والمساحة الورقية التي تم قبلها كل أربعة أيام (Brougham 1956)

Brougham بأن معدل نمو المحصول يزداد بزيادة دليل المساحة الورقية الى (٥) بينما يعترض الكساء الخضري ٩٥ ٪ من الأشعة الضوئية (شكل ٢ - ٢) . ولم تغير دلائل المساحة الورقية الأكثر من خمسة معدل نمو المحصول بصورة معنوية لذا فقد سمى Brougham دليل المساحة الورقية التي يصل فيها الكساء الخضري الحد الأعلى، من معدل المحصول (الذي يحصل عند اعتراض ٩٥ ٪ من الضوء) بدليل المساحة الورقية الحرجة .

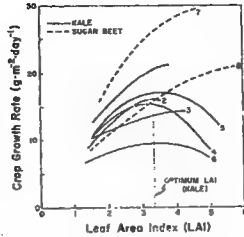
وقد استخدم دليل المساحة الورقية الذي يعترض ٩٥ ٪ من الأشعة الشمسية على انه دليل مساحة ورقية حرجة من قبل علماء فيولوجيا المحاصيل لسببين :
 الاول : يصل اعتراض الطاقة الشعاعية حدها الأعلى (مقارب) asymptotically، وهذا يعني من المستحيل قياس دليل المساحة الورقية الذي يعترض ١٠٠ ٪ من الأشعة الشمسية . ثانياً ، ان اعتراض ٩٥ ٪ تحت أقصى اشعة شمسية ٢٣٠٠ مايكرومول فوتون / م^٢ / الثانية يعني ان مستوى الأشعة في أسفل الكساء الخضري ١١٥ مايكرومول فوتون / م^٢ / الثانية وهذا يمثل نقطة تعويض الضوء لأغلب الأنواع .
 تؤدي زيادة دليل المساحة الورقية الأعلى من اعتراض ٩٥ ٪ من الأشعة الى زيادة معنوية في معدل نمو المحصول . ويوضح تحليل نمو فول الصويا الذي قام به Shibles and Weber (1965) استجابة دليل المساحة الورقية الحرجة والعلاقة التقليدية بين اعتراض الأشعة الشمسية ودليل المساحة الورقية ومعدل نمو المحصول (شكل ٢ - ٣) .



شكل (٢ - ٣) العلاقة بين اعتراض الأشعاع ودليل مساحة الأوراق ومعدل نمو محصول
(Shibles and Weber 1965, by permission).

دليل المساحة الورقية المثالية

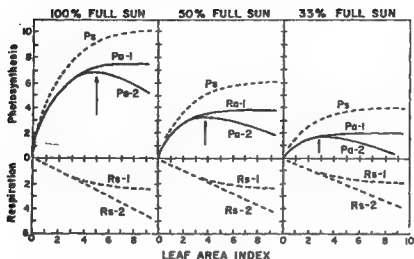
أجرى Watson سنة ١٩٥٨ في انكلترا تجربة مشابهة لتلك التي قام بها Brougham. فقد زرع نبات اللفت *kale* والبنجر السكري في خطوط وقد غير عدد النباتات في الخط الواحد لكي يغير دليل المساحة الورقية، وقاس دليل مشابه لنتائج تجربة Brougham ماعدى الدراسة التي أجريت على محصول اللفت حيث وصل معدل نمو المحصول قمته (أقصاه) عند دليل مساحة ورقية حوالي ٣.٥ ثم انخفض عند زيادة دليل المساحة الورقية (شكل ٢ - ٤). ان هذه النتائج مشابهة الى الحسابات النظرية التي قام بها Ksanaga و Monsi سنة ١٩٥٤ في اليابان اللذين سمى دليل المساحة الورقية عند الحد الاعلى لمعدل نمو المحصول بدليل المساحة الورقية المثالية بسبب ان معدل نمو المحصول ينخفض عند زيادة دليل المساحة الورقية أكثر من المثالية. وكان البنجر السكري في تجربة Watson أكثر كفاءة من اللفت الا انه لم يعطي أقصى معدل نمو محصول حتى عند دليل مساحة ورقية مقدارها خمسة.



شكل (٢ - ٤) معدل نمو محصولي اللث kale والبنجر السكري وعلاقته بدليل مساحة الاوراق . وقد أظهر اللث استجابة دليل مساحة مثالية (Watson 1958)

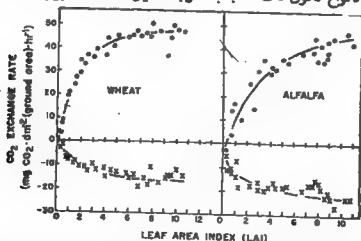
مفاهيم دليل المساحة الورقية العرجة والمثالية

ان زيادة دليل المساحة الورقية يعني اعتراض اغلب الاشعة الشمسية وهذا بدوره يؤدي الى زيادة معدل نمو المحصول (CGR) سواء كان الكساء الخضري ذو دليل مساحة ورقية عرجة ام مثالية . وبعد الوصول الى اقصى حد من نمو المحصول فان دليل المساحة الورقية العرجة يختلف عن دليل المساحة الورقية المثالية بسبب التنفس (شكل ٢ - ٥) . ويزداد التمثيل الضوئي الى ان يتم اعتراض جميع الاشعاع الشمسي بسطوح الاوراق القائمة بالتمثيل الضوئي . وان اي زيادة في المساحة الورقية سوف تؤدي فقط الى تظليل الاوراق السفلية والتي تكون غير قادرة على تمثيل مواد كاربوهيدراتية كافية لسد متطلبات التنفس . وقد تستخدم نواتج التمثيل من اوراق اخرى (تصبح الاوراق السفلية متطفلة parasitic) مما ينتج عنه انخفاض في معدل نمو المحصول . وتنتج في اغلب الانواع اوراق جديدة في قمة النبات وتصبح الاوراق السفلية مظلمة . لقد ظهر بأن الاوراق الكاملة النمو لا تنقل (تستورد) نواتج تمثيل ضوئي من الاوراق الاخرى (Wolf and Blaser 1971) وعلاوة على ذلك فان الاوراق التي تصبح مظلمة يكون تنفسها منخفضاً مع انخفاض التمثيل الضوئي (Duncan et al. 1967) . وفي مثل هذه الانواع تتوقع استجابة الى دليل المساحة الورقية العرجة . وقد ايدت الابحاث التي قام بها



شكل (٢ - ٥) التمثيل الضوئي والتنفس في الكساء الغضري وملامحه بدليل المساحة الورقية. صافي التمثيل الضوئي (P_g) عبارة عن الفرق بين التمثيل الضوئي (P_s) والتنفس (R_g) وتوضح منحنيات صافي التمثيل الضوئي الفرق بين استجابة دليل مساحة الأوراق الحرجة (P_{s-1}) واستجابة دليل مساحة الأوراق المثالية (P_{s-2}) الناتجة من الفرق بين تنفس الاستجابتين إن صافي التمثيل الضوئي P_g منظر أو مساوي إلى معدل نمو المحصول CGR. لاحظ بأن أقصى صافي التمثيل الضوئي (السم) يحدث عند أقل دليل مساحة ورقية عندما ينخفض مستوى الإشعاع الشمسي.

King and Evans (1967) في أستراليا بأن زيادة التنفس تنخفض كثيراً عندما يصل دليل المساحة الورقية إلى الحالة الحرجة في الحنطة والحب (شكل ٢ - ٦) لذا فإن هذه الأنواع تكون ذات استجابة حرجة لدليل المساحة الورقية.



شكل (٦ - ٢) معدلات تبادل ثاني أكسيد الكربون لكساء محصول الحنطة والحب تمت اشعاع ضل للتمثيل الضوئي حوالي $\frac{1}{3}$ ضوء الشمس (o) وفي الظلام (x) وملامحه بدليل مساحة الأوراق (King and Evans 1967)

وقد تحصل استجابة لدليل المساحة الورقية المثالية عند تظليل انسجة حديثة. اوضح pearce وآخرون سنة ١٩٦٥ الاستجابة المثالية لدليل المساحة الورقية في حشيش البساتين orchardgrass مع النمو الذي حصل بعد التزهير. وبما ان اوراق حشيش البساتين تستطيل من مرستيمات بينيه intercalary قرب الساق غير المتوسع nonelongated stem فان اجزاء الاوراق القديمة في القسم العلوي من الكساء الخضري تظل الاوراق الحديثة في اسفل الكساء عند دليل مساحة ورقية عالي. ان انسجة الاوراق الحديثة تستخدم نواتج التمثيل من انسجة الاوراق القديمة كنتيجة لوظيفة نموها. وهذا يؤدي الى زيادة تنفسها والذي لا يستطيع سد متطلباته من التمثيل الضوئي بسبب التظليل وبذلك يحدث استجابة دليل مساحة ورقة مثالية.

وبالرغم من اختلاف تعريف دليل المساحة الورقية الحرجة عن المثالية، فانها يتصفان بصفات كمية متساوية وهو الحصول على اقصى حد من دليل المساحة الورقية للحصول على اقصى حد من معدل نمو المحصول (Loomis and Williams 1963) وكلاهما يفترض دليل المساحة الورقية التي تعترض أغلب الضوء الساقط عليها.

تخفيف الاشعاع خلال الكساء الخضري للمحاصيل

RADIATION ATTENUATION THROUGH CROP CANOPIES

تعرض المجتمعات النباتية كل من الضوء المباشر وغير المباشر أو الضوء المنتشر (diffuse radiation). وتستلم الاوراق العلوية الاشعاع المباشر وغير المباشر أو المنتشر. بينما تستلم الاوراق السفلية في الكساء جزءاً صغيراً من الضوء المباشر. ويصبح الاشعاع غير المباشر أكثر وضوحاً بسبب نفاذ الاشعاع خلال الاوراق وانعكاسها من أسطح النبات والتربة. وتتغير كمية ونوعية الاشعة مع العمق في الكساء الخضري بسبب أن الضوء النافذ خلال الاوراق يكون بصورة رئيسية من الاشعة تحت الحمراء. وبما أن النباتات تفضل امتصاص الطاقة في مجال طول الموجات (٤٠٠ - ٧٠٠ نانوميتر)، فان طول الموجات الأطول من هذا المدى تصبح سائدة في المستويات الواطئة من الكساء. ولهذا السبب في دراسات التمثيل الضوئي تقيس أغلب الاجهزة الاشعاع في مجتمعات المحاصيل الكونتم اومستوى الطاقة بين أطوال الموجات ما بين ٤٠٠ - ٧٠٠ نانوميتر. لذا فان الاشعاع المقاس يسمى كثافة

تدفق فوتونات التمثيل الضوئي photosynthetic photon flux كميًا، للكونتم
او الاشعاع الفعال في التمثيل الضوئي photosynthetically active
radiation وهو مقياس للكونتم او الطاقة. ويعني مصطلح الاشعاع radiation
في هذا الفصل الاشعاع الفعال في التمثيل الضوئي. لقد وجد بأن تخفيف الاشعاع
خلال دخوله الى أسفل كساء النبات يقارب تلوين المحلول او معلق خلايا الطحالب
(Monsi and Saeki 1953). إن هذا الانطفاء يطابق قانون Lambert-Beer
للامتصاص، الذي ينص بأن كل طبقة متساوية السمك تمتص جزءاً
متساوياً من الأشعة التي تعترضها. وبالنسبة لكساء النباتات فإن الطبقة المتساوية
السمك تعتمد على وحدات دليل مساحة الاوراق. وتستعمل المعادلة التالية لقياس
الاشعاع،

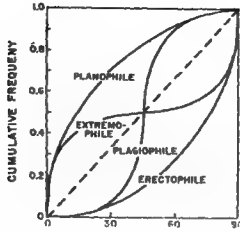
$$I/I_0 = e^{-kL}$$

حيث أن I_0 = الاشعاع الفعال في التمثيل الضوئي فوق الكساء.
 I_i = الاشعاع الفعال في التمثيل الضوئي أسفل طبقة (i) للاوراق.
 L = دليل مساحة الاوراق لطبقة اوراق (i).
 k = معامل الانطفاء وهو ميزة الكساء
 e = ثابت اللوغارتم الطبيعي (2.71828)

لذا فإن كمية ضوء الشمس النافذة خلال الكساء الخضري تتأثر بدليل مساحة
الاوراق وطبيعة عرض الاوراق. ويعطى معامل الانطفاء (k) دليل عددي على
تخفيف الضوء في الكساء. وإن k صفة مميزة لطريقة عرض الورقة في الكساء.
والذي يشمل أساساً على زاوية ميل الورقة والطريقة التي تتجمع فيها الاوراق ضمن
الكساء.

زاوية ميل الورقة. Leaf Inclination.

لقد عرف وشرح de Wit (1965) انواع مختلفة لزاوية ميل الورقة (شكل
٢-٧). وتتراوح هذه الانماط المثالية من المنبسطة (افقية) planophile حيث
تكون اغلب الاوراق قريبة من المستوى الافقي horizontal (الزاوية اقل من ٣٥
درجة من الافق) الى القائمة erectophile حيث تكون اغلب الاوراق قائمة
vertical (الزاوية اكثر من ٦٠ درجة من الافق). وتبين الدراسات التي قام بها
(Trenbath and Angus 1975) كيفية اختلاف الانواع في مطابقة انماط

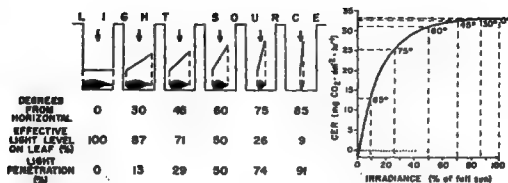


شكل (٢ - ٧) توزيعات تكرارية تمثيلية مثالية لزواوية ميل الورقة في أربعة أنواع من الكساء (de Wit 1965). يمثل الخط المتقطع النوع الخامس وهو عبارة عن التوزيع المنتظم الذي اقترحه Trenbath and Angus سنة ١٩٧٥.

مختلفة من زاوية ميل الورقة، وتشير الدراسات الى ان انواع النباتات قد اظهرت جميع انماط زاوية ميل الورقة ماعدا النوع المختلط *extremophile*

تؤثر زاوية ميل الورقة على اعتراض الضوء وتوزيعه في الكساء الخضري. حيث يحتاج كساء البرسيم ذو زاوية ميل الورقة الافقية الى مساحة ورقية اقل لاعتراض اغلب الاشعة الساقطة من كساء الحشائش ذات زاوية الميل القائمة (شكل ٢ - ٨). وتقدر قيمة k لكساء البرسيم بحوالي ٠.٦ ولكساء الحشائش بحوالي ٠.٢٥ (Loomis and Williams 1969). وقد استعمل Warren Wilson سنة ١٩٥٩ تكرار ملاسة الاوراق الخضراء لابر عمودية وافقية تمر من خلال طبقات مختلفة من الكساء لحساب معدل زاوية الاوراق (شكل ٢ - ٨). واضح وجود انماط زاوية ميل افقية للبرسيم وزاوية ميل عمودية لحشيش الشليم.

واستناداً الى نظرية Brougham's سنة ١٩٦٦ حول دليل مساحة الاوراق الحرج فان كساء البرسيم في شكل (٢ - ٨) يعترض ٩٥% من الاشعة عند دليل مساحة ورقية مقدارها (٥). لذا فان دليل مساحة الاوراق الحرج للبرسيم هو (٥) بينما يستمر معدل نمو محصول الحشائش بالزيادة الى الوصول الى دليل مساحة ورقية حرجة قدرها (٩).



شكل (٢-٩) العلاقة بين زاوية الورقة والأشعاع الشمسي عند سطح الورقة ومتى استجابة الضوء لورقة النفل الأحمر.

Radiation Attenuation and Crop Growth Rate.

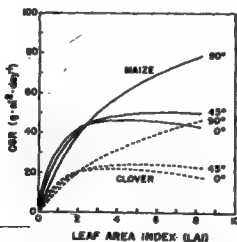
تخفيف الإشعاع ومعدل نمو المحصول

كيف يجب أن تكون الأوراق عمودية ؟ يوضح شكل (٢-٩) المفاهيم النظرية لزيادة حاصل الكساء الخضري من خلال تعرض الأوراق بصورة أكثر عمودية . على سبيل المثال . عندما تكون زاوية الورقة ٧٥ درجة من الأفق ويكون مصدر الإشعاع عمودي عليها فانها تمتص ٢٦ ٪ من الضوء الذي تعترضه الورقة التي تكون بوضع أفقي وتكون فعالية مستوى الأشعة للورقة العمودية ٢٦ ٪ من الورقة الأفقية . بسبب أن استجابة التمثيل الضوئي للأشعة منحنية خطية *curvilinear* وإن كفاءة الأشعة تكون أعلى عند مستويات الأشعة المنخفضة (أشد إضاءة قليلة) . فإن الأوراق العمودية تكون أكثر كفاءة بوحدة الأشعة الممتصة . في مثال البرسيم الأحمر (شكل ٢-٩) . عندما كانت زاوية الورقة ٧٥ درجة من الأفق اعترضت ٢٦ ٪ من الضوء وانخفض التمثيل الضوئي للورقة ٢٦ ٪ فقط مقارنة مع الأوراق الأفقية . يعود الانخفاض القليل في التمثيل الضوئي للأوراق البلوية إلى أن الأوراق العمودية تسمح بمرور أشعة أكثر إلى الأوراق السفلية . ونظرياً يزداد التمثيل الضوئي ومعدل نمو المحصول للكساء الخضري كثيراً بالوضع العمودي للأوراق عند دليل مساحة ورقية عالية (جدول ٢-١) .

لاتصل عادة نباتات C_3 الى حالة التشبع باشعة الشمس المباشرة. (انظر شكل ١-٦) وهذا يعني انها تستعمل مستويات اشعة عالية بكفاءة اعلى من نباتات انواع C_4 . الا انها تستطيع استعمال مستويات الاشعة المنخفضة بكفاءة اعلى من الضوء الكامل للشمس. على سبيل المثال. يوضح شكل (٢-٦) ان معدل تبادل ثاني اوكسيد الكاربون هو 42% و 72% عندما تكون مستويات الاشعة عند سطح الورقة 25% و 50% من الضوء الكامل للشمس على التوالي مقارنة مع المعدل عند الضوء الكامل للشمس.

وقد استعمل Loomis and Williams (1969) برنامج نموذجي في الحاسب الالكتروني قدروا فيه تأثير زاوية ميل الورقة وكمية الاوراق على معدل نمو المحصول CGR للذرة الصفراء والبرسيم (شكل ٢-١٠). وكما سبق شرحه. فان دليل المساحة الورقية الحرج (اعتراض 90% من الاشعة) يكون منخفضاً للكساء ذو الاوراق الافقية وعالياً للكساء الخصري ذو الاوراق العمودية.

ويعطى الكساء الخصري ذو الاوراق الافقية اعلى معدل لنمو المحصول عند دلائل مساحة ورقية اقل من (٢). ويحتاج الكساء الخصري ذو الاوراق العمودية دليل مساحة ورقية (٤) او اكثر لاعطاء معدل نمو محصول اعلى من الكساء ذو الاوراق الافقية.



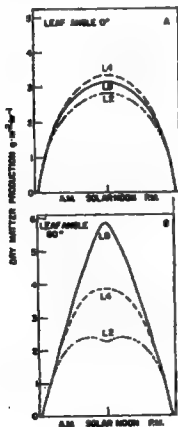
شكل (٢-١٠) منحنيات معدلات نمو محصول الذرة الصفراء والبرسيم عند دلائل مساحة ورقية وزاوية ورقية مختلفة مرسومة بالحاسب الالكتروني، (Loomis and Williams 1969)

وعند دليل المساحة الورقية المنخفضة يكون التظليل قليل بين الأوراق . لذا فإن الكساء ذو الأوراق الأفقية يتميز على الكساء ذو الأوراق العمودية بسبب ان الأشعة تكون عالية عند سطح الورقة . اما عند دلائل المساحة الورقية العالية فإن الكساء ذو الأوراق العمودية يكون هو المفضل بسبب ان الضوء يتوزع بصورة متساوية فوق كساء مساحة الأوراق . وبسبب اعتراض اشعة اقل من قبل الأوراق العليا وبذلك يسمح بمرور ضوء اكثر للأوراق السفلى لاعتراضه .

زاوية الشمس وتخفيف الأشعة ومعدل نمو المحصول

Solar Angle, Radiation Attenuation, and Crop Growth Rate.

ان الشمس لا تكون عمودية دائماً . حيث تتغير زاوية اشعة الشمس الساقطة على كساء المحاصيل يومياً وموسمياً . لقد قاس Duncan وآخرون سنة ١٩٦٧ تأثير زاوية الورقة وكميتها على معدل نمو المحصول CGR أثناء فترة النهار (شكل ٢ - ١١) . فوجدوا بأنه أثناء الصباح الباكر وفي آخر النهار تكون زاوية اشعة الشمس



شكل (١١ - ٢) منحنيات التأثير اليومي لزاوية الورقة
ولليل مساحة الأوراق على معدل نمو المحصول لكساء
الفترة الضفراء (Duncan et al. 1967)

قريبة من الافقية لنا فان تأثير زاوية الورقة ودليل المساحة الورقية يكون قليل على معدل نمو المحصول CGR . اما عند الظهيرة فتكون الاوراق الافقية ذات ميزة (فائدة) عند دليل مساحة ورقية مقدارها (٢) على الاوراق ذات الزاوية (٨٠ درجة) من الافق ودليل مساحة ورقية مقدارها (٨) .

تباين زاوية ميل الورقة ضمن الكساء

Leaf Inclination Variation within Canopies.

قد تختلف زاوية ميل الورقة في طبقات مختلفة من الكساء الخضري (شكل ٢ - ٨) . ولقد سمي Angur و Trenbath الكساء الذي تكون اوراقه العليا عمودية وتصبح افقية بصورة تدريجية كلما اقترب من سطح الارض بالعرض المثالي للاوراق . لقد بين Pendleton وآخرون (1968) بان الكساء الخضري للنرة الصفراء الذي كانت فيه الاوراق فوق العرنوص قائمة قد اعطى حاصلًا أكثر من الكساء ذو الاوراق الافقية او الكساء الذي وضعت فيه جميع اوراق النبات عمودية بصورة اصطناعية (جدول ٢ - ٢) . ويسمح النمط الذي تكون فيه الاوراق العليا قائمة والسفلى افقية في البيئة ذات شدة الاضاءة العالية باعتراض أشعة أقل مما

جدول (٢ - ١) العلاقة بين وضع الورقة (زاوية الورقة) والتمثيل الضوئي للورقة ودليل مساحة الاوراق والتمثيل الضوئي الكلي بوحدة مساحة الارض .

زاوية الورقة من الافق	معدل التمثيل الضوئي للورقة (ملغم CO ₂ / سم ² / ساعة)	دليل مساحة الاوراق لاضراض الكلي اغلب الضوء (ملغم CO ₂ / سم ² من الارض / الساعة)	التمثيل الضوئي
صفر	٣٣	١	٣٣
٦٠	٣٦	٢	٦٢
٧٥	٣٦	٤	١٤٤
٨٥	١٢	١٠	١٢٠

ملاحظة / اجريت هذه الحسابات من شكل ٢ - ٩ .

جدول (٢-٢) معدل حاصل العبوب ونسبة النباتات غير المنتجة من دراسة زاوية الورقة

معاملات المقارنة	الحاصل (كغم % هكتار)	نسبة النباتات غير المنتجة
سلالات متشابهة وراثياً للهجين $C103 \times 11y$		
١- أوراق طبيعية	٦٢٠٢	٢٨ أ
٢- أوراق قائمة	٨٧٦٩ ب	١٤ ب
تغير زاوية الورقة اليالهجين بـ ٣٣٠٦		
١- طبيعي (غير معامل)	٦٦٨٣ ج	٤ ج
٢- وضعت جميع الأوراق قائمة	١٣٨٦ د	٦ ب ج
٣- وضعت الأوراق فوق المرنوس قائمة فقط	١٢٢٠٧ د	٣ ج

المصدر Pendleton وآخرون (1968).

المدلات التي تحصل نفس الحرف لا تختلف معنوياً عند مستوى ٠.٥.

يجعل تمثيلها الضوئي أكثر كثافة إلا أنها تسمح بمرور اشعة أكثر الى الأوراق السفلية . وعندما تتوزع الاشعة بصورة متساوية على مجموع المساحة الورقية فان الكساء الخضري لا يتطلب دلائل مساحة ورقية عالية جداً التي هي ضرورية لانتاج معدل نمو محصول عالي في كساء خضري تكون فيه جميع الأوراق عمودية (Dun-can 1971).

فوائد ومساوئ الكساء ذو الأوراق العمودية

لقد ذكر (Trenbath and Angus 1975) أربعة درجيات حول البنيجر السكري والشعير والرز والشاي تم فيها قياس العلاقة بين معدل نمو المحصول وزاوية ميل الورقة . وكانت معدلات نمو المحصول في الانواع ذات الأوراق العمودية أكثر بمقدار ١٩ - ١٠٨ % من معدلات النمو في الانواع ذات الأوراق الافقية . وقد بينوا من خلال اربعة عشر دراسة حول الحنطة والشعير والرز والذرة الصفراء العلاقة بين زاوية ميل الورقة وحاصل العبوب .

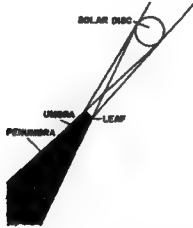
واظهر ثلاث دراسات تفوق الكساء ذو الاوراق العمودية (٥٠-١٨ ٪) . وظهرت احدى عشرة دراسة تفوق الحاصل في الكساء ذو الاوراق العمودية (٤-٦٨) . وفي جميع الحالات كان اداء كساء المحاصيل ذات الاوراق العمودية افضل عند الزراعة بكثافات نباتية تعطي دليل مساحة ورقية حرج او تتعداه .

وكانت اغلب الدراسات التي اجريت حول زاوية ميل الورقة على العشائش . وفي النباتات ذات الاوراق المريضة (ذات الفلقتين) غالباً ما تتغير زاوية ميل الورقة استجابة الى الشمس (حركة الانتحاء الشمسي *heliotropic*) . وتكون عدد من المحاصيل من ضمنها البقوليات والقطن وعباد الشمس ذات استجابة انحاء شمسي (Trenbath and Angus 1975) . هذا وتعرض بعض المحاصيل اوراقها بشكل عمودي الى اشعة الشمس المباشرة . اما البعض الاخر فقد تكون اسطح اوراقها بزاوية ترتبط مباشرة مع اشعة الشمس المباشرة (Ross 1970) . وفي ظروف تواجد الغيوم وجد بان فول الصويا تعرض اوراقها بشكل عمودي الى الجزء الاكثر اضاءة من السماء بينما تحافظ الاوراق على زاوية منفرجة مع اشعة الشمس المباشرة (Kaw ashima 1969) وقد اجريت دراسات عديدة لتحديد فيما اذا كان بالامكان ثبات هذه الصفة واستعمالها لاعتراض الاشعة الشمسية بشكل افضل .

المسافة بين الاوراق العمودية

تؤثر كثافة الاوراق القائمة على نمط اشعة الشمس داخل الكساء الخضري . وتستلم الورقة التي تكون تحت الوجة العلوية مباشرة كل من الظل المباشر واشعة الشمس المباشرة حسب موقعها . فكلما ابتعدت الورقة في النبات عن الورقة العلوية في الكساء كلاً - قل ضوء الشمس المباشر والظل بسبب انتشار ظل حواف الاوراق shadow edges (شكل ٢ - ١٢) . وقد تكون الاوراق الكبيرة والمتباعدة عن بعضها البعض كأوراق عباد الشمس نمط انتشار ضوئي في كساء النبات مشابهة الى ما هو عليه في النباتات القصيرة كالجبث . واذا كانت المسافة بين الاوراق كبيرة وذات زوايا قائمة او رفيعة (مثل الهليون asparagus والصنوبريات conifers) فان الظل من حافات الاوراق سوف ينتشر وتفقد الاختلافات بين الاشعة المباشرة والاشعة المنتشرة . (Loomis and Williams 1969) . هذا ويبدو بأن أغلب النباتات قد تطورت حتى اصبحت المسافة بين الواحدة والاخرى ضعف عرضها . وفي تربية الاصناف المتتزمة للانواع المزروعة (مثل الذرة البيضاء والذرة الصفراء) قد تغير عامل المسافة هذا حيث أن الاوراق المريضة تكون متقاربة مع بعضها نسبة الى عرض

الورقة . وقد اقترح (Loomis and Williams 1969) أن ترتيب الأوراق في الأصناف المتفرقة يمكن تحسينه من خلال تقليل عرض الورقة وتقليل عدد الأوراق أو ترتيب الأوراق في النبات .



شكل (٢ - ١) - انتشار ظل حواف الورقة في ضوء الشمس المباشر موضحة التأثير في الإشعاع في الكساء الغضري .

ومائل زيادة استغلال الطاقة الشمسية

إن الحاصل عبارة عن تراكم المادة الجافة مع الزمن . كيف يستغل المحصول الأشعة الشمسية بكفاءة ، وما هي طول المدة التي يستطيع فيها المحافظة على كفاءة الاستخدام هذه لكي يولد الحاصل النهائي للمادة الجافة .

LEAF AREA DURATION مدة بقاء مساحة الأوراق

لايجاد علاقة بين حاصل المادة الجافة ودليل مساحة الأوراق دمج Watson (1947) دليل المساحة الورقية مع الزمن وسماها مدة بقاء مساحة الأوراق (LAD) والتي تأخذ بنظر الاعتبار كل من مدة بقاء وحجم أنسجة التمثيل الضوئي لكساء المحصول . وفي المحاصيل الحولية تتكون مساحة الورقة الخارجية من البذرة الصغيرة . إلا أنها تحت ظروف ملائمة تزداد بمعدل أسّي exponential . إن حساب المساحة تحت منحنى دليل المساحة الورقية بالوقت يعطى مدة مساحة الأوراق ويعبر عنها

كوقت (مثلاً دليل مساحة ورقية ايام او اسابيع) وهو معدل حاصل ضرب دليل مساحة الاوزاق بالوقت من بداية الى نهاية تكوين المساحة الاورقية (مثلاً ٣٦٠ دليل مساحة ورقية ١٠ ايام) .

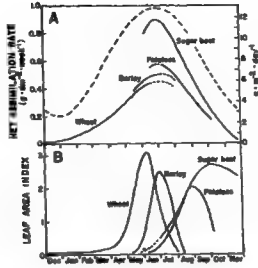
وعادة يوجد ارتباط وثيق بين مدة بقاء المساحة الورقية والحاصل لان اعتراض اشعة الشمس لفترات زمنية اطول يعني انتاج مادة جافة اكثر (جدول ٢ - ٣) . وتوجد اختلافات كبيرة في الحاصل الكلي للمادة الجافة وهذا ناتج اساساً من الاختلاف في مدة بقاء فترة التمثيل الضوئي وليس من معدل التمثيل الضوئي . على سبيل المثال ينتج الصنوبر الجنوبي southern pine حاصل مادة جافة جيد في السنة بالرغم من ان معدل التمثيل الضوئي منخفض مقارنة مع الكثير من الانواع الاخرى . الا ان مدة بقاء دليل المساحة الورقية لا يأخذ بالحسبان كمية الاشعة الشمسية المتوفرة للتمثيل الضوئي للمحصول ولا تخفيف الاشعة ضمن الكساء الخضري او كفاءة الاوراق في استغلال الاشعة الجاهزة (شكل ٢ - ١٣ A) . كما ان التمثيل للاجزاء غير الورقية والتظليل الناجم من الانسجة غير الورقية (مثل الحرية في الفرة الصفراء) قد يؤثر على استغلال ضوء الشمس بالكساء الخضري للمحصول بغض النظر عن مدة بقاء المساحة الورقية .

جدول (٢ - ٢) . المادة الجافة عند الحصاد وعلاقتها بمدة بقاء المساحة الورقية (LAD) ومعدل صافي نواتج التمثيل (NAR) لحاصلات مختلفة .

المادة الجافة عند الحصاد	مدة بقاء المساحة الورقية (اسبوع)	معدل صافي نواتج التمثيل (كغم / سم ²) / (كغم / سم ² / هكتار / ٢ اسبوع)	المحصول (طن / هكتار)
٦,٧٢	١٧	٤٠٨	الشعير
٧,٢٢	٢١	٢٤٨	البطاطا
٩,١٧	٢٥	٣٦٠	الحنطة
١١,٥٢	٣٣	٢٤٨	البنجر السكري

المصدر : Watson 1947,

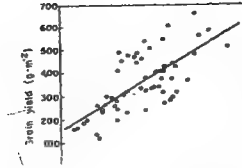
تم الحصاد في نهاية تشرين اول .



شكل (٢ - ٣) منحنيات توضح معدل التغير مع الزمن في (A) ، معدل نواتج التمثيل و (B) دليل مساحة الأوراق لأنواع نباتية مختلفة . المساحة تحت كل دليل مساحة ورقية تمثل مدة بقاء المساحة الورقية LAD (Watson 1947.) يمثل الخط المتقطع في A مستويات الاشعاع النسبي في انكلترا خلال السنة . لاحظ بان معدل نواتج التمثيل ذو علاقة وثيقة بمستوى الاشعاع .

ويمكن قياس مدة بقاء المساحة الورقية بسهولة حيث انها ترتبط بحاصل المادة الجافة وهي تعطي دليل على انتاجية الحاصل . ويمكن ان تعطى قياس جيد لحاصل حبوب الحنطة اذا قيست من ظهور السنبل الى النضج بالرغم من ان التمثيل الضوئي بالسنبل يساهم بدرجة كبيرة في حاصل الحبوب . وبسبب ان اغلب الكاربوهيدرات في حبوب الحنطة تأتي من التمثيل الضوئي بعد ظهور السنابل وبسبب ان فترة بقاء التمثيل الضوئي للسنبل يرتبط بمدة بقاء المساحة الورقية ، لذا فان مدة بقاء المساحة الورقية LAD يجب ان ترتبط بالحاصل . وقد اظهرت بعض الدراسات التي ذكرها Evans (1975) بأن مدة بقاء المساحة الورقية يمكن ان تساهم بحوالي نصف التباين في حاصل الحبوب . بالرغم من وجود اختلافات كبيرة في المناخ والعمليات الزراعية والاصناف شكل (٢ - ١٤) .

وتعد مدة بقاء المساحة الورقية مقياس كفوء لتقدير او توقع كمية الحاصل وهي فقط تقدير لاستغلال اشعة الضوء بالزمن . وتعطي القياسات الحقيقية للاشعة والاشعة المعترضة مع الزمن ارتباطاً مع الحاصل افضل بكثير من مدة بقاء المساحة الورقية .

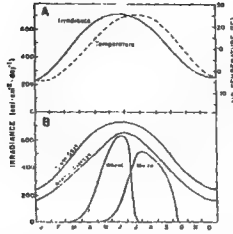


شكل (٢ - ١٤) العلاقة بين حاصل الحبوب و مساحة بقاء المساحة الورقية بعد ظهور سابل العنطة في مدى من الظروف البيئية (Evans et al. 1975).

التداخل بين الطاقة الشمسية ودرجة الحرارة

يعد حاصل المادة الجافة الكلي للمحصول تجمع او تراكم صافي تمثيل ثاني اوكسيد الكربون خلال موسم النمو الكلي . وتغير بعض العوامل البيئية التوقعات خلال موسم النمو . و احيانا يزداد حاصل المحصول بسبب استفادة النباتات من هذه التغيرات .

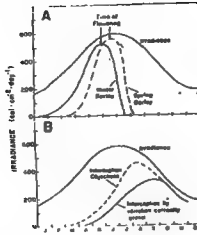
وفي المناطق المعتدلة تعد مستويات الطاقة الشمسية ودرجات حرارة الهواء والتربة العاملين البيئيان الرئيسيان اللذان يتغير توقعهما خلال موسم النمو . وحيث ان درجات حرارة السطح عند اي موقع تتأثر بالدرجة الرئيسية بكمية الطاقة الشعاعية المستلمة . وهكذا فان هذين العاملين يتغيران سوية . الا ان الارض تحافظ على بعض الطاقة المتبقية . وهي تحتاج الى وقت لرفع درجة حرارتها او خفضها اعتمادا على التغيرات العاصلة في الطاقة الشمسية المستلمة وهذا يؤدي الى ايجاد فجوة في الوقت بين اقل مستوى للطاقة الشمسية واعلى درجة حرارة (شكل ٢ - ١٥) . وبسبب فجوة الوقت هذه فان مستويات الطاقة الشعاعية عند درجة حرارة معينة تكون اعلى في فصل الربيع من فصل الخريف (شكل ٢ - ١٥) . وبسبب وجود ارتباط كبير بين معدل نمو المحصول واعتراض الطاقة الشعاعية فان حدوث دليل مساحة ورقية اثناء الفترة التي تكون فيها الطاقة الشعاعية تعطي القدرة على انتاج اعلى حاصل .



شكل (٢ - ١٠) الأشعاع الموسمي وعلاقته مع (أ) درجات الحرارة الموسمية و (ب) إشعاع الأشعاع بمحصولي النخلة والقرع الصفراء . هذه المنحنيات مبينة على أساس المناخ القاري حوالي خط عرض ٤٢ درجة شمالاً .

تختلف المحاصيل في مدى درجة الحرارة التي يجب أن تنمو فيها . فإن المحاصيل التي تنمو تحت ظروف باردة (تنمو عند درجة حرارة صفراء أساسية مقدارها - ٥ م كالهخلة) تكون ذات قابلية أفضل في قدرتها على إنتاج دليل مساحة ورقية خرج بوقت مبكر من موسم النمو بحيث يتوافق مع وقت وجود أعلى طاقة شمسية (شكل ٢ - ١٠ أ) . ويصبح هذا التداخل بين درجة الحرارة والطاقة الشمسية أكثر وضوحاً عند خطوط العرض البعيدة عن خط الاستواء .

أن التحدي الذي يواجهه علماء فسيولوجيا المحاصيل ومربو النبات هو تطوير نباتات باستطاعتها تكوين مساحة ورقية كافية قبل وصول الطاقة الشعاعية حدها الأقصى والمحافظة على مساحة ورقية فعالة خلال الفترة الرئيسية لتوفر الطاقة الشمسية المرتفعة . وتختلف معدلات المساحة الورقية بين الشمر الشتوي والريعي (شكل ٢ - ١٦ أ) . حيث ينمو ويتكون الشمر الشتوي بوقت مبكر بسبب أنه لايزرع في الربيع لئلا فائه يزهر ويموت قبل الشمر الريعي . وتصل المساحة الورقية العظمى في كلا النوعين خلال فترة وجود أعلى مستويات من الطاقة الشمسية . هذا وتمثل المساحة تحت منحنى الأشعة لكل شكل كمية الطاقة الشمسية المستفيدة والتي تتناسب مع أعلى حاصل ممكن .



شكل (٢ - ١٦) الاشعاع التقريبي في إنكلترا وعلاقته (A) باعتراض الاشعاع الشمسي بمحصولي الشعير الشتوي والريفي و (B) اعتراض الاشعاع الشمسي بمحصول البنجر السكري باستعمال اصفاف مستتبطة حديثا ورعاية محصول جيدة . ونقط اعتراض الضوء التي يهدف مربي النبات الحصول عليه (Ivins 1973)

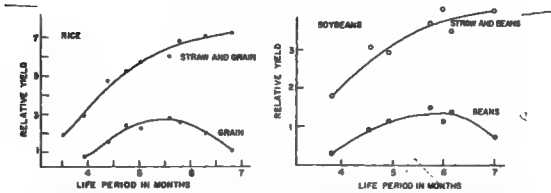
ولاجل تكوين مساحة ورقية مبكرة لمحصول يزرع في الربيع يجب عادة ايجاد التراكيب الوراثية التي تنمو وتتكون في درجات حرارة منخفضة وتكون مقارنة للانجماد. ويقوم مربوا النبات في المناطق المعتدلة بانتخاب محاصيل عديدة لزيادة مقاومتها للبرودة حتى يمكن زراعتها بوقت مبكر ليصل فيها دليل المساحة الورقية بوقت مبكر في موسم النمو . وقد اوضح Ivins (1973) بأن زيادة حاصل البنجر السكري في الزراعة المبكرة كان بسبب تكوين مساحة ورقية اكثر واعتراض طاقة شمسية اكثر بوقت مبكر من موسم النمو (شكل ٢ - ١٦ B) .

الفترة المثالية لحاصل البذور

نظرياً كلما طالت المرحلة العظمى لاصفي نواتج التمثيل بوحدة مساحة سطح التربة كلما كان انتاج المادة الجافة الكلية اعلى مايمكن وبالتالي زيادة الانتاج الثمري او الاجزاء الاخرى للنبات . وتؤيد بعض البيانات هذا المفهوم وعلى سبيل المثال . في المناطق المعتدلة ان احسن الاصناف المتأخرة النضج تعطي حاصلأ أعلى من أفضل الاصناف المبكرة النضج .

ويبدو ان المناطق الاستوائية متميزة على المناطق المعتدلة في هذا المجال . حيث ان طول فترة النمو الخضري غير محددة بدرجات الحرارة لذا يمكن استعمال اصناف ذات فترة نمو خضري طويلة الانتاج حاصلاً عالياً . اما (Best 1962) فقد اوضح بأن هذا الافتراض غير صحيحاً واكد على وجود عوامل اخرى تلعب دوراً مهماً وربما يمكن اعتبارها تحت عنوان شيخوخة النبات .

وتبين الامثلة في شكل (٢ - ٧) التي درس فيها حاصل البنور كدالة لفترة النمو الخضري باستعمال صنف حساس للفترة الضوئية لكل من الرز وفول الصويا وقد حصل على تبايناً في طول فترة النمو الخضري عند استعمال اشعة بديلة ضعيفة . بينما تم المحافظة على كمية قياسية من ضوء النهار خلال ٢٤ ساعة .



شكل (٢ - ٧) تأثير طول فترة النمو الخضري على حاصل فول الصويا والرز مع وبدون القش (التيث) . لقد تم تنظيم طول فترة النمو الخضري بمعاملات الفترة الضوئية مع استخدام نفس كمية الضوء اليومية الفعالة في التمثيل الضوئي لجميع المعاملات (Best 1962) .

وفي هذه الاشكال رسم Best خطأ بيانياً لحاصل البنور مع طول فترة النمو الخضري . وتوضح الخطوط البيانية ان هناك بعض فترات نمو خضري مثالية لانتاج البنور لارتباط مع انتاج الحد الاقصى من المادة الجافة .

وقد ذكر Best بأن الضوء وطول الفترة الضوئية قد لا تكون ملائمة للانتاجية العالية للتمثيل الضوئي في المناطق الاستوائية . وهكذا يمكن القول بأن المعدلات العالية لانتاج المادة الجافة للحبوب في فترة قصيرة نسبياً . تكون افضل في المناطق المعتدلة . وان المحاصيل التي تكون نواتجها الاجزاء الخضرية (مثل القصب السكري . المانهوت cassava ومحاصيل العلف) ذات معدلات إنتاج ثابتة من المادة الجافة ربما يكون انتاجها افضل في المناطق الاستوائية . كما أشار Best الى

وجود تأثير مميز لدرجة الحرارة على توزيع المادة الجافة في المحصول حيث تلائم درجات الحرارة للنخضة إنتقال المادة الجافة الى الحبة .

الكثافة النباتية :

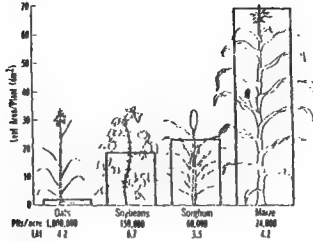
لاجل اعتراض الطاقة الشعاعية بصورة كفاءة بواسطة سطح المحصول يتطلب وجود مساحة ورقية كافية وتوزيع منتظم لعمل تغطية كاملة لسطح الارض . ويمكن الحصول على هنا بتنظيم الكثافة النباتية وتوزيعها على سطح الارض .

وتوضح قياسات دليل المساحة الورقية ومعدل نمو المحصول في مجتمعات المحاصيل الكبيرة كيف تنتج المحاصيل حاصلًا عاليًا . الا انها صعبة القياس . ولاسباب عملية وتطبيقية يستخدم منتجي المحاصيل الكثافة النباتية (عدد النباتات بوحدة المساحة) والحاصل النهائي .

عوامل النبات والبيئة المؤثرة على الكثافة المثالية :

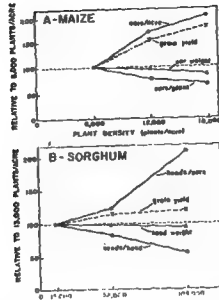
يجب اختبار الكثافة النباتية الاكثر ملائمة على اساس العوامل النباتية والبيئة التالية .

- ١ - حجم النبات (والذي اساساً يعكس المساحة الورقية للنبات) . ويبين شكل (٢ - ٨) مقارنة لاربعة انواع هي الشوفان وفول الصويا والذرة البيضاء والذرة الصفراء عند الكثافة النباتية الاعتيادية المستعملة لكل نوع والتي تعطي دلائل مساحة ورقية مقدارها ٤,٢, ٦,٧, ٥,٣, ٢,٤ على التوالي . وتحدد مساحة الاوراق بالنبات عدد النباتات المطلوبة لتكوين دليل مساحة ورقية حرجة .
- تحتوي هجن الذرة الصفراء المتأقلمة لخطوط العرض الشمالية على ورقة او اكثر مما تحوي هجن المتأقلمة للمنطقة الجنوبية في الولايات المتحدة . لذا فهي تتطلب كثافة نباتية اعلى لانتاج حاصل عالي . وقد يحور ميل زاوية الورقة دليل المساحة الورقية الحرجة . لذا يجب تحديد الكثافة النباتية نسبة الى هذه المتغيرات .



شكل (٢-١٨) المساحة الورقية بالنبات لاربع انواع محاصيل بكثافات غالباً ما تستخدم في الزراعة ودلائل المساحة الورقية الناتجة عنها .

٢- الاشطاء و / أو التفرعات . يعد التفرع طريقة فعالة لزيادة المساحة الورقية بالنبات . ويقلل حساسية الحاصل للكثافة النباتية . ففي نباتات الذرة البيضاء التي تكون اشطاء (تفرع من العقدة القريبة من أو تحت سطح التربة ازداد عدد الرؤوس heads بالهكتار قليلاً عند تغيير الكثافة النباتية من ٣٢,٠٠٠ الى ١٢٨,٠٠٠ نبات بالهكتار (شكل ٢-١٩) . وهذا يشير الى ان النبات الواحد قد اعطى اكثر من ثلاثة اشطاء في كثافة ٣٢,٠٠٠ نبات هكتار . وعندما تم مضاعفت عدد النباتات من ١٢٨,٠٠٠ الى ٢٥٦,٠٠٠ نبات بالهكتار تضاعف عدد الرؤوس بالهكتار ايضاً . مشيراً الى تكوين اشطاء قليلة عند كثافة ١٢٨,٠٠٠ نبات / هكتار . ولم تؤدي زيادة الكثافة النباتية الى زيادة حاصل الحبوب بسبب ان زيادة الرؤوس بالهكتار قد ادت الى خفض عدد البذور بالرأس الواحد هذا ولا تعطى اصناف الذرة الصفراء الحديثة اشطاء كثيرة حتى عند زراعتها بكثافات نباتية منخفضة . وعادة تعطى عرنوساً واحداً بالنبات . لذا فان حاصل الذرة الصفراء اكثر حساسية لتغيير الكثافة النباتية من الذرة البيضاء بسبب ان كل من المساحة الورقية وعدد العرائض بوحدة المساحة يزداد أو ينخفض عند تغيير الكثافة النباتية . ولا تملك الذرة الصفراء المرونة كبقية انواع المحاصيل الاخرى التي تستطيع زيادة المساحة الورقية وعدد الوحدات الانتاجية بواسطة التفرع عند زراعتها بكثافات نباتية واطنة .



شكل (٢-١٩) تأثير الكثافة النباتية على المحصول ومكوناته لـ (A) القمح الصفراء لا يكون أشدلة و (B) القمح البيضاء، يكون أشدلة.

٣ - الاضطجاع

تؤدي زيادة الكثافة إلى تكوين نباتات وسيقان صغيرة وضعيفة وأحياناً طويلة لنا يتطلب استخدام أصناف ذات سيقان قوية أو خفض الكثافة النباتية لتقليل الاضطجاع (ميل أو سقوط النباتات على بعضها). ويؤدي الاضطجاع إلى تقليل المحصول المحصود وذلك بوضع البنود قريبة من سطح التربة بحيث لا تستطيع الالآت حصادها. وينخفض المحصول أيضاً من خلال عدم تعرض الأوراق لأشعة الشمس بصورة صحيحة.

٤ - انخفاض عقد الثمار:

تنخفض قدرة النبات على إنتاج الأزهار وعقد الثمار أو أنها تجهض عند زيادة الكثافة النباتية. وهذا يقلل احتمال زيادة حاصل البنود بواسطة كمية نواتج التمثيل التي تستطيع البنود تخزينها.

وتؤثر العوامل البيئية على الكثافة النباتية المثالية للحاصل . وتشمل العوامل البيئية الرئيسية على (١) الاشعة الضوئية (٢) الرطوبة (٣) خصوبة التربة . وان نقص أي من هذه العوامل البيئية يؤدي الى خفض الكثافة النباتية المثالية لانتاج أقصى حاصل . هذا وتنافس الادغال نباتات المحاصيل على العوامل البيئية والتي بدورها تقلل الكثافة النباتية المثالية .

الكثافة النباتية والحاصل

تؤكد الابحاث المديدة التي لخصها Holliday (1960 a,b) على وجود نوعين من التداخل بين الكثافة النباتية والحاصل التي تحدث عند زيادة الكثافة النباتية للمحصول . وتعتمد هذه الاختلافات فيما اذا كان الحاصل ناتج نمو النبات من الطور التكاثري reproductive phase (حاصل البذور) أو ناتج من طور النمو الخضري vegetative phase والاعتبار الرئيسي هو هل ان الحاصل الاقتصادي هو مكونات النبات مثل (وزن البذور) أو النبات الكلي (الحاصل البايولوجي biological yield) ولتوضيح الحاصل من مرحلة النمو التكاثري فقد استخدمت بيانات حبوب الحنطة من الدراسات التي اجريت في انكلترا . ولوضحت هذه البيانات استجابة على شكل منحنى قوسي parabolic response curve (شكل ٢ - ٢٠) . حيث يكون هذا المنحنى مستقيماً من الاعلى وهو يمثل الحاصل المثالي ثم ينخفض الحاصل من كلا الجانبين . وعندما يكون حاصل البذور هو الناتج المرغوب فهناك كثافة نباتية مثالية بعدها يمكن ان تكون الكثافة النباتية عالية جداً بسبب ان نواتج التمثيل الاخرى تتوزع اكثر الى النمو الخضري أو للمحافظة على التنفس بدلاً من نمو البذور . ويمكن ان يطابق منحنى حاصل البذور معادلة التربيع التالية (شكل ٢ - ١٩)

$$Y = a + bx - cx^2$$

حيث أن Y = الحاصل بوحدة المساحة
 x = الكثافة النباتية (عدد النباتات / المساحة)
 a, b, c = ثوابت الانحدار

وفي حالة كون الحاصل متناهي من المادة الخضرية للنمو فان استجابة الحاصل لزيادة الكثافة النباتية تكون ممثله بمنحنى asymptotic

وهو مشابه لدليل المساحة الورقية الحرجة . وفي هذه الحالة من الضروري الحصول على كثافة نباتية عالية لاعتراض اقصى اشعة شمسية ممكنة . وعندما تكون الكثافة عالية جدا فان الخسارة الوحيدة تكون من تكاليف الزيادة في البذور . وهذا يوضح جزئيا لماذا يوصى باستخدام معدلات بذار عالية احيانا للمحاصيل العلفية . وبالرغم من ذلك لاتوجد خسارة من استخدام كثافات نباتية اكثر من الكثافة الحرجة . كما لاتوجد ايضا اية فوائد بسبب اعتراض ١٠٠ % من اشعة الشمس فقط . و احيانا من الصعب الحصول على كثافة منتظمة لمحاصيل العلف لذلك يوصى باستخدام معدلات بذار عالية جدا .

ويمكن توضيح منحنى الحاصل البيولوجي .

شكل (٢ - ٢٠) بالمعادلة المسماة rectangular hyperbole التالية ،

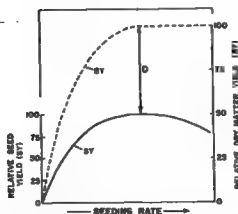
$$Y = Ax / (1 + Abx)$$

حيث ان Y = حاصل المادة الجافة بوحدة المساحة

A = الحد الاقصى للحاصل الظاهري للنبات

x = عدد النباتات بوحدة المساحة

b = معامل لانحدار الخطي



شكل (٢ - ٢٠) تأثير زيادة معدل البذر على حاصل البذور (SY) والمادة الجافة او الحاصل البيولوجي (DM) للحصول . يتوقف منحنى الحاصل البيولوجي عندما يصل منحنى حاصل البذور اقصى حد .

وفي هذه المعادلة يمثل $1/(1 + Abx)$ الحالة التي ينخفض فيها الحاصل الأقصى للنبات (A) بسبب زيادة التنافس بين النباتات الناتج من استخدام كثافة نباتية عالية .

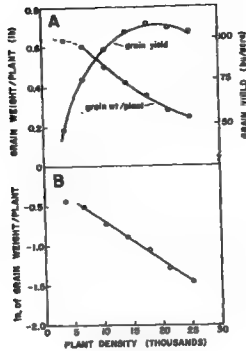
ويمكن ان تسمى (A) بعامل التنافس *competition factor* .

وبينما تم تقدير العلاقة بين الكثافة النباتية والحاصل في دراسات عديدة الا ان المقاييس الثلاثة وهي الكثافة النباتية وحاصل المادة الجافة وحاصل الحبوب لم يتم قياسها معاً في اغلب الاحيان . وتبين البيانات من الدراسات الستة التي عرضها Donald (1963) بان قمة حاصل البذور في كل حالة تحدث تقريباً عند الكثافة النباتية التي يتوقف عندها الحاصل البايولوجي (حاصل المادة الجافة) (شكل ٢ - ٣) .

لذلك فان حاصل الحبوب يملك دليل مساحة ورقية مثالية عند المساحة الورقية الحرجة للمحاصيل البايولوجية . وان اية زيادة في الحاصل الكلي بوحدة المساحة بسبب اضافة نباتات أخرى عند هذه الكثافة سوف تتعامل بالنقصان الحاصل بوزن النبات .

وبدون شك ان هذه العلاقات تمثل الظروف التي يكون فيها الضوء أو العناصر الغذائية عوامل محددة وهي حالة وقتية لا تستمر وعلى سبيل المثال ، تحت الظروف التي يتفد الماء فيها قبل تكوين البذور .

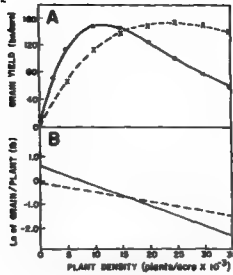
وقد عرض Duncan (1958) مناقشة جيدة للعلاقة بين الكثافة النباتية وحاصل الذرة الصفراء مع تأكيد خاص على التداخل بين النباتات والحاصل بالنبات الواحد . وقد كون الفرضية التالية التي برهنها بنتائج من عدد من التجارب العقلية ، وتنص على ان لو غارتم معدل حاصل النباتات الفردية فو علاقة خطية سالبة مع الكثافة النباتية (شكل ٢ - ٣) . واستنتج بانه يمكن زراعة صف الذرة الصفراء بكثافتين نباتيتين مختلفتين كثيراً (١٥.٠٠٠ الى ٦٢.٠٠٠ نبات / هكتار) وقد حسب الكثافة التي تعطي اقصى حاصل ممكن توقعه من ذلك الصنف .



شكل (٢ - ٢١) مثال حول العلاقة بين حاصل الحبوب والنبات وحاصل الحبوب بالأكبر عند زيادة الكثافة النباتية . (A) يمثل العلاقة الرياضية (الحسابية) (B) يمثل العلاقة اللوغارتمية (Duncan 1958) .

وينخفض حاصل النبات عند زيادة عدد النباتات ، ويمكن توضيح هذه العلاقة برسم حاصل النبات على اوراق بيانية لوغارتمية خاصة . وبما ان المنحنى يكون خط مستقيم فنحتاج ان نعرف فقط الحاصل بالنبات عند كثافتين نباتيتين . وان الحاصل بالهكتار عبارة عن حاصل النبات مضروب بالكثافة النباتية اذن يمكن حساب الحاصل لاي كثافة نباتية ورسم النتائج على اوراق بيانية خاصة (شكل ٢ - ٢٢) . وعند مقارنة المنحنى اللوغارتمى مع المنحنى الحسابى في شكل (٢ - ٢٢) يمكن ملاحظة انه كلما كان المنحدر اللوغارتمى ذو استواء اكثر كلما ازدادت الحاجة الى كثافة نباتية اعلى لانتاج اقصى حاصل .

وقد علق Willey and Heath على فرضية Duncan مايلى ، يبدو انه من الافضل في التطبيق شمول كثافة نباتية وسطية ، حيث ان النقطة المحسوبة للحاصل الاقصى ليست بعيدة من المعاملة التجريبية .



شكل (٢ - ٢٢) مثالين تبين العلاقة بين حاصل العبوب بالنبات والكثافة النباتية . ويمثل الاختلاف بين المثالين الاختلاف بين الاصناف او اختلاف الظروف البيئية (مثل الخصوبة والرطوبة ونوع التربة) (Duncan 1958) .

استجابة النبات لتغير الكثافة النباتية :

لقد قدم Donald (1963) توضيحاً لاستجابة النبات لتغير الكثافة النباتية واعتمد كل من Donald و Duncan (1969) بصورة كبيرة على اعمال Hozumi et. al. (1955) اللذين درسوا حاصل النباتات المتقاربة او المتجاورة .

واقترح Donald بان الزيادة الكبيرة في وزن وعدد البنور في النورة الزهرية في الكثافات النباتية الوسطى يعود الى وقت التنافس بين النباتات *intraplant competition* والتنافس ضمن النبات الواحد *interplant competition* . هنا وينعدم التنافس خلال المراحل الاولى من النمو في كلا النوعين وذلك عند زراعة النباتات على مسافات واسعة (اوطاء كثافة نباتية) . وتتكون منشآت الازهار *Flower primordia* باعداد كبيرة في كل نبات . وعند تقدم النمو . يكون هناك تنافس قليل بين النباتات وتنافس اقل ضمن النبات الواحد حتى بعد التزهير وعقد البنور . ويؤدي حمل النورات الزهرية الكبيرة الى حصول تنافس على نواتج التمثيل بين النورات الزهرية وبين البنور على نفس النبات . اي تنافس ضمن النبات الواحد . ان هذا الفقد في الكفاءة عند الزراعة على مسافات واسعة يعكس

تنافس كبير ضمن النبات الواحد مؤدياً الى انتاج عدد اقل من البذور بالنورة وتقليل حجم البذور مقارنة مع الكثافة النباتية العالية . لذا فان التنافس ضمن النبات الواحد يشتد في الكثافات النباتية الواطئة .

ويبدو ان التنافس بين النباتات في الكثافات النباتية العالية نسبياً يبدأ في وقت نشوء او تكوين الازهار . وينخفض عدد منشآت الازهار المتكونة بكل نبات بدرجة كبيرة ، ويتحدد مقدار هذا الانخفاض بقابلية النبات على التنافس مع النباتات الاخرى كلما اشتد التنافس . ويصل عدد البذور بالنواه الزهرية وبوحدة المساحة حدداً الاقصى . هنا وان الكثافات النباتية العالية لا تزال تؤدي الى خفض عدد البذور مسبباً انخفاض وقت تكوين منشآت الازهار .

توزيع النباتات ومسافة الزراعة :

كان الافتراض خلال هذا الفصل ان النباتات موزعة بشكل منتظم في الحقل مكوناً كساء منتظماً للأوراق التي بدورها تعترض الاشعة الشمسية بصورة منتظمة . ومع ذلك فان الحال ليس كذلك في المحاصيل المزروعة ، حيث توضع البذور في التربة باستعمال بادرة الية (ميكانيكية) ويتم ذلك عادة في خطوط متقطعة او منفصلة . وكلما كانت المسافة واسعة بين خطوط الزراعة كلما ازداد عدد البذور التي تزرع بالبادرة بطول الخط للمحصول عند كثافة نباتية معينة .

ان هدف انتاج حاصل عالي هو اعتراض اكثر اشعة شمسية ممكنة ، وتعطي الزراعة على مسافات متساوية اقصى اعتراض للضوء وبوقت مبكر (شكل ٢ - ٣) .

وعند زيادة المسافة بين خطوط الزراعة تصبح المسافة بين النباتات غير منتظمة ويحدث تنافس مبكر بين النباتات .

وعندما تزداد المسافة بين النباتات ضمن الخط الواحد يجب ان تقل المسافة بين الخطوط للحصول على الكثافة النباتية المعينة . ان العامل الرئيسي الذي يحدد المسافة بين النباتات هو الكثافة النباتية . وان نفس العوامل التي تؤثر على الكثافة النباتية تؤثر على المسافة المثالية بين خطوط الزراعة .

MAIZE				SOYBEANS				GROUND COVER at beginning May
Row Spacing	In-row Spacing	In-row Ratio	24,000 plants/acre (64,000 plants/ha)	Row Spacing	In-row Spacing	In-row Ratio	105,000 plants/acre (260,000 plants/ha)	
40"	6"	6.7		40"	15"	26.7		
30"	8"	3.8		30"	2"	15.0		
20"	12"	1.7		20"	3"	6.7		
10"	24"	1.0		10"	6"	1.7		

شكل (٢ - ٣) يبين نمط زراعة بفور الفرة الصفراء وفول الصويا على مسافة ٤٠ و ٣٠ و ٢٠ و ١٠ انج بين خطوط . كما يبين الشكل ايضاً الغطاء الارضي لمسافات الزراعة المختلفة لفول الصويا .

وتكون استجابة نباتات المحاصيل ذات المساحة الورقية العالية بالنبات التي تزرع بكثافات نباتية منخفضة (مثل الفرة الصفراء) اقل لتقليل المسافة بين مسافات الزراعة من نباتات المحاصيل الاصفر المزروعة بكثافات نباتية عالية (مثل فول الصويا) .

اجرى Shibles and Weber (1966) مقارنة تقليدية لصنف فول صويا النبات كبير النبات ("Hawkeye") باستعمال كثافات نباتية ومسافات زراعة متباينة (جدول ٢ - ٤) . واطهرت دراستهما بان توليفة معينة من تكوين مساحة ورقية مبكرة . واقصى اعتراض للطاقة الشمسية . وظروف تقليل الاضطجاع . وانتقال كفوء للمادة الجافة الى البذور كان مطلوباً للحصول على اعلى حاصل . وحصلوا على ٣٣ % زيادة في الحاصل بتقليل المسافة بين الخطوط من ١٠٢ الى ٢٥ سم (٤٠ - ١٠ انج) باستخدام ٢٤٧,٠٠٠ نبات./ هكتار .

ويؤثر قوام النبات على الكثافة النباتية المثالية . وتكون عادة نباتات فول الصويا المزروعة بوقت متاخر من الموسم قصيرة القوام بسبب التزهير المبكر المحث بالفترة الضوئية . لذلك يجب زيادة الكثافة النباتية وتقليل المسافة بين خطوط الزراعة للحصول على اقصى قدرة للمحاصيل مقارنة مع نباتات فول الصويا ذات القوام الطويل .

جدول (٢ - ٤) . تأثير المسالة بين المخطط والكفاءة النباتية على دليل المساحة الورقية (AM) وأعراض الطاقة الضمائية والتفرع والمعدل ونسبة الوزن الجاف البذور من الوزن الكلي للنبات

المعاملة	عدد النبات بالقدم الواحد للنمط	المساحة الورقية لأعراض ٩٥ % من البذور	عدد الأيام للحصول على دليل مساحة ورقية يتفرع ٩٥ % من البذور	عدد التفرعات بالنبات	المعدل	نسبة وزن البذور الى وزن النبات الكلي
الكفاءة النباتية						
٢٥٠٠٠	١	٣,٢	٦٩	٩,٠	١٧٨	٢١
٥٠٠٠٠	٢	٣,١	٦١	٩,٠	١٣٣	٢٧
٧٥٠٠٠	٤	٣,٦	٥٧	٩,٥	١١٥	٢٧
١٠٠٠٠٠	٨	٤,٠	٥٢	١٠,١	٦٠	٢١
المسالة بين مخطط ٢ الزيادة (النج)						
٥	١	٣,٦	٥٣	١,٢	١٢١	١٢١
١٠	٢	٣,٦	٥٥	١,١	١٣٣	١٢٣
٢٠	٤	٣,٦	٥٧	١,٥	١١٥	١١٥
٥٠	٨	٤,٢	٦٦	٢,١	٦٠	٦٠

المصدر :
١ - عدد النباتات / أكر - مزرعة طمسقة ٢٠ نج
٢ - ١٠٠٠٠ نبات / أكر

وتحت الظروف غير الملائمة لايزداد الحاصل بتقليل المسافة بين خطوط الزراعة لاغلب المحاصيل . لقد اختبر Taylor (1980) النظرية التي تنص على ان زراعة فول الصويا على مسافات واسعة يعطي حاصلًا مشابهًا لحاصل النباتات المزروعة على مسافات ضيقة في السنوات التي يكون فيها توفر الماء قليلًا . وقد انتجت النباتات المزروعة على خطوط ضيقة (٢٥ سم) حاصلًا أكثر بمقدار ١٧ ٪ من النباتات المزروعة على خطوط واسعة (١٠٠ سم) وذلك في السنوات التي كان فيها الماء متوفرًا وخلال سنتين عندما كان الماء المتوفر منخفضًا لم تحصل أية اختلافات في حاصل البنور بين مسافات الزراعة ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١١٠ سم اما في السنوات الجافة فقد حدث نقص ماء شديد اولا في خطوط الزراعة الضيقة مؤدياً الى تكوين نباتات قصيرة ودليل مساحة ورقية قليلة .

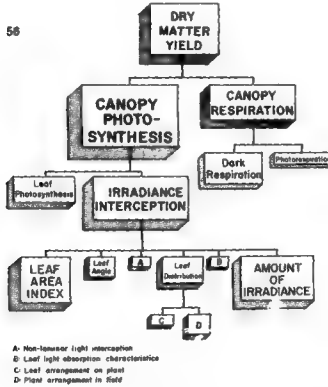
ان الادغال تنافس نباتات المحاصيل على العوامل البيئية ، لذا فان مكافحة الجيدة للادغال مهمة لانتاج حاصل عالي . وتكون مكافحة الادغال صعبة عند الزراعة على خطوط ضيقة . ولاحظ Weber (1962) بان فول الصويا المزروعة على مسافة ١٦ - ١٩ سم بين الخطوط قد اعطت حاصلًا اقل من النباتات المزروعة على مسافة ٥٣ - ٧١ سم (٢١ - ٨ انج) بين الخطوط بسبب المكافحة الجيدة للادغال . وعند الزراعة على مسافات ضيقة يجب استخدام كثافات نباتية عالية لضمان تكوين كساء خضري سريع ينافس نمو الادغال (Shibles and Green 1979) .

ويبدو ان استخدام المسافات الضيقة بين النباتات هي احدى الخطوات من سلسلة تؤدي الى انتاج اعلى حاصل للمحاصيل . ولاجل انتاج حاصل عالي من الزراعة على مسافات ضيقة ، فان على المنتج استخدام جميع وسائل الرعاية التي تؤدي الى زيادة الحاصل (مثل استعمال اصناف متكيفة والتسميد ومكافحة الادغال والحشرات واجراء العمليات الزراعية بوقتها وتوزيع منتظم للنباتات في خطوط الزراعة وكثافة نباتية مثالية) . وعند التحويل الى مسافات الزراعة الضيقة يجب على المنتج اختيار الصنف الذي يجب زراعته ومعدل البذار (الكثافة النباتية) وكيفية التعامل مع احتمال مشاكل الاضطجاع . وتكاليف شراء الآت الزراعة على مسافات ضيقة (الزراعة والحصاد) . والتكاليف العالية المطلوبة للبنور والسماد وكيف يتم الحصول على مكافحة جيدة للادغال في موسم النمو .

ويعاود مختص تربية النبات وفلسجة المحاصيل تشخيص التراكيب الوراثية
المتكيفة الى الكشافات النباتية العالية ومسافات الزراعة الضيقة (Mock and Pearce
1975; Cooper 1980)

الخلاصة

ان حاصل المادة الجافة الكلية هو ناتج كفاءة الكساء الخضري للمحصول في اعتراض واستخدام الاشعة الشمسية المتوفرة خلال موسم النمو . وتعد الاوراق اعضاء النبات الرئيسية التي تقوم باعترض الاشعة الشمسية . ولانتاج معدلات نمو محصول قصوى يجب تواجد اوراق كافية في الكساء لاعتراض اغلب الاشعة الشمسية الساقطة على كساء المحصول . وعندما يحدث هذا فان مستوى كفاءة تمثيل المحصول او (CGR) تتحدد بكفاءة تمثيل الاوراق او NAR . وتتاثر كفاءة معدل صافي نواتج التمثيل (NAR) بكمية الاشعة الشمسية وقدرة الاوراق على التمثيل الضوئي ودليل مساحة الاوراق وكيفية توزيع مستوى الاشعة الشمسية بين اسطح الاوراق وكمية تنفس النبات (شكل ٢ - ٢٤) .



شكل (٢ - ٢٤) . يبين هذا المخطط العوامل المختلفة المؤثرة على حاصل المادة الجافة الكلية . ويمثل حجم الصناديق تقدير للاهمية النسبية للعوامل .

ان نباتات المحاصيل لاتحافظ على دليل مساحة ورقية حرجة طول الفترة الكلية لموسم النمو . وتبدأ النباتات الحولية مساحتها الورقية من البادرات والتي يكون فيها اعتراض الاشعة بكساء المحصول تقريباً صفر . الا ان دليل مساحة الاوراق يزداد بتقدم موسم النمو وبالتالي يعترض اغلب الاشعة الشمسية . وبعد حصول غطاء ارضي كامل يعتمد انتاج المادة الجافة الكلي على قدرة المحصول على المحافظة على كساء ورقي اخضر وفعال .

وتشمل الطرق المستخدمة للاستغلال الاقصى للاشعة الشمسية لانتاج اعلى حاصل على مايلي :

- ١ - الزراعة المبكرة لتكوين مساحة ورقية مبكرة . ويجب استنباط اصناف ذات مقاومة عالية للانجماد ودرجات الحرارة المنخفضة .
- ٢ - الزراعة بمعدل البذار الذي يعطي دليل مساحة ورقية مثالية عند تكوين اقصى مساحة ورقية .
- ٣ - الزراعة في الموعد الذي يعطي تغطية كاملة خلال الفترة التي تتواجد فيها اعلى مستويات من الاشعة الشمسية .
- ٤ - زراعة النباتات بشكل منتظم او قريب من المنتظم في الحقل لتقليل التنافس المبكر بين النباتات وزيادة معدل اعتراض الاشعة الشمسية .
- ٥ - استخدام الاسمدة لزيادة معدل النمو وكفاءة تمثيل اسطح الاوراق .
- ٦ - توسيع فترة اعتراض الاشعة القصوى بواسطة اسطح الاوراق الفعالة (او مدة بقاء دليل المساحة الورقية LAD

وهناك عوامل نباتية وبيئية تستطيع تحويل قدرة كساء المحصول على استخدام الاشعة الشمسية . وان اغلب ما نعرفه حول هذه العوامل موضحاً في الفصول القادمة .

المصادر

References

- Best, R. 1962. *Neth. J. Agric. Sci.* 10:347-53.
- Brougham, R. W. 1956. *Aust. J. Agric. Res.* 7:377-87.
- Cooper, R. 1980. In *Solid Seeded Soybeans—Systems for Success*, American Soybean Association.
- de Wit, C. T. 1965. *Versl. Landbouwk. Onderz. Ned.* 663.
- Donald, C. M. 1963. *Adv. Agron.* 15:1-118.
- Duncan, W. G. 1958. *Agron. J.* 50:82-84.
- . 1969. In *Physiological Aspects of Crop Yield*, ed. J. D. Eastin et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy.
- . 1971. *Crop Sci.* 11:482-85.
- Duncan, W. G., R. S. Loomis, W. A. Williams, and R. A. Hanau. 1967. *Hilgardia* 38:181-205.
- Evans, L. T., I. F. Wardlaw, and R. A. Fisher. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Holliday, R. 1960a. *Field Crop Abstr.* 13:159-67.
- . 1960b. *Field Crop Abstr.* 13:247-54.
- Hozumi, K., H. Koyama, and T. Kira. 1955. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D* 6:121-30.
- Ivins, J. D. 1973. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. [B]* 267:81-91.
- Kasanga, H., and M. Monsi. 1954. *Jpn. J. Bot.* 14:304-24.
- Kawashima, R. 1969. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 38:718-42.
- King, R. W., and L. T. Evans. 1967. *Aust. J. Biol. Sci.* 20:623-31.
- Loomis, R. S., and W. A. Williams. 1963. *Crop Sci.* 3:67-72.
- . 1969. In *Physiological Aspects of Crop Yield*, ed. J. D. Eastin et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy.
- Mock, J. J., and R. B. Pearce. 1975. *Euphytica* 24:613-23.
- Monsi, M., and T. Saeki. 1953. *Jpn. J. Bot.* 14:22-52.
- Pearce, R. B., R. H. Brown, and R. E. Blaser. 1965. *Crop Sci.* 5:553-56.
- Pendleton, J. W., G. E. Smit, S. R. Winter, and T. J. Johnson. 1968. *Agron. J.* 60:422-24.
- Prine, G. M., and V. N. Schroder. 1964. *Crop Sci.* 4:361-62.
- Ross, J. K. 1970. In *Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity*, ed. I. Setlik. Wageningen, Netherlands: IBP/PP.
- Shibles, R. M., and D. E. Green. 1979. *Proc. Ninth Soybean Seed Res. Conf.*, Washington, D.C.: American Seed Trade Association.
- Shibles, R. M., and C. R. Weber. 1965. *Crop Sci.* 5:575-77.
- . 1966. *Crop Sci.* 6:55-59.
- Stern, W. R., and C. M. Donald. 1962. *Aust. J. Agric. Res.* 13:615-23.
- Stickler, F. C., and S. Wearden. 1965. *Agron. J.* 57:564-67.
- Taylor, H. M. 1980. *Agron. J.* 72:573-77.
- Trenbath, B. R., and J. F. Angus. 1975. *Field Crop Abst.* 28:231-44.
- Warren Wilson, J. 1959. In *The Measurement of Grassland Productivity*, ed. J. D. Ivins. London: Butterworth.

- Watson, D. J. 1947. *Ann. Bot. n.s.* 11:41-76.
_____. 1958. *Ann. Bot. n.s.* 22:37-55.
Weber, C. R. 1962. *Iowa State Univ. Pam.* 290.
Willey, R. W., and S. B. Heath. 1969. *Adv. Agron.* 21:281-322.
Wolf, D. D., and R. E. Blaser. 1971. *Crop Sci.* 11:55-58.

النقل والتوزيع (التقسيم)

Transport and Partitioning

لأجل استغلال الطاقة الشمسية بكفاءة ولخزن نواتج التمثيل (*assimilate*) يحتاج النبات الى نظام نقل فعال لنقل نواتج التمثيل الى مناطق استعمالها . وعند الانبات تنتقل المواد المخزونة في البذرة الى المرستيمات الجديدة الفعالة لتكوين الورقة والساق والجذر . التي تصبح بعد مدة قصيرة بادرة ذاتية التغذية *autotrophic* . وتنقل نواتج التمثيل المنتجة في الانسجة الخضراء خلال النبات لاستعمالها في النمو والخزن والمحافظة على الخلايا ويسمى تقسيم نواتج التمثيل بين هذه العمليات بالتوزيع *partitioning* وهو يؤثر على انتاجية وبقاء النبات .

لقد تم شرح انتاج المادة الجافة في الفصل الاول والثاني . وفي هنا الفصل سوف نناقش كيف تنتقل نواتج التمثيل في النباتات وكيف تتوزع بين اعضاء النبات المختلفة . وعادة تحصد بعض اعضاء النبات وليس جميع اعضاء النبات ، وأحيانا تحصد البذور فقط او الاوراق او السيقان او الازهار او الجنور . وحتى هذه المنتجات قد تستعمل للحصول على مركب كيميائي معين (كالزيت او البروتين او النشاء من البذور ، او السكر من السيقان او الجنور) . وبالنسبة لهذه المحاصيل فان الحاصل هو كمية الزيت او السكر او البذور او السيقان او الاوراق او الازهار او الجنور المنتجة بوحدة مساحة الارض . لذا فان توزيع نواتج التمثيل والناصر غير المضوية يمكن ان يؤثر على كل من كفاءة انتاج المادة الجافة او جزء من المادة الجافة في عضو النبات المحصود .

النقل باللحاء Phloem Transport

في نمو وتكوين النبات تنتقل نواتج التمثيل من المصدر *source* (مكان دخولها النبات أو تمثيلها) إلى المصب *sink* (مكان استعمالها). ويكون الانتقال بين أعضاء النبات الداخلية بصورة رئيسية خلال النظام الوعائي. الخشب *xylem* واللحاء *phloem*. وتكون الحركة في أنسجة الخشب أساساً باتجاه واحد من الجذور إلى الأعلى *acropetal* خلال التدفق النتحى *transpiration stream*. بالمقارنة نجد أن المواد المنتقلة باللحاء تنتقل باتجاهين *bidirectional movement*. ويكون الانتقال إما إلى الأعلى أو الأسفل *basipetal*. تنتقل نواتج التمثيل المنتجة بالأوراق إلى المصبات بينما تنتقل المواد الممتصة بالجذور إلى الأعلى ويوجد في كلا الخشب واللحاء اتصالات جانبية، الأشرطة السايوبلازمية *plasmodesmata* / التي تسمح بيمض الانتقال الجانبي.

أن أكثر المواد انتقالاً بعد الماء هو نواتج التمثيل الضوئي أو نواتج التمثيل المخزونة المعاد انتقالها. ويستدل على ذلك من حقيقة وجود ٩٠% من مجموع المواد الصلبة في اللحاء بشكل كاربوهيدرات. أغلبها سكريات غير مختزلة *nonreducing* (سكريات لا تحوي على مجموعة الديهايد *aldehyde* أو كيتون *ketone*. مثل السكروز والرافينوز *raffinose*) والتي توجد في نسيج اللحاء بتركيز عالية ١٠-٢٥%. ويعد السكروز السكر السائد الذي ينتقل بأوعية لحاء أغلب أنواع المحاصيل. وهو الوحيد في بعضها. ويحوي نسيج اللحاء أيضاً على مركبات نابتروجينية وخاصة الأحماض الأمينية والأميدات *amides* واليوريدات *urides* بتركيز ٠.٣-٠.٤%. وتنتقل باللحاء أيضاً بعض المركبات الأخرى بتركيز قليلة جداً وتشمل على عدد من منتظمات النمو، والنيوكليتيديتات وبعض العناصر غير العضوية ومبيدات الحشرات الجهازية وعادة لا تنتقل الكثير من المركبات في اللحاء مثل السكريات المختزلة ومبيدات الأذغال الملامسة والبروتينات وأغلب السكريات العديدة والكالسيوم والحديد وأغلب العناصر النادرة.

تعد نظرية سريان الكتلة *mass flow* التي اقترحها منخ *Munch* سنة ١٩٣٠ أكثر شيوعاً من غيرها لتوضيح آلية النقل. وهي توضح نقل نواتج التمثيل في سريان الكتلة على طول منحدر تدرج الضغط الهيدروستاتي *hydrostatic pressure*. *gra dient*. أن فعالية (أيض) التحميل *loading* والتفريغ *unloading* لنواتج التمثيل في

مناطق المصدر والمصب على التوالي هي المسؤولة عن الاختلافات في الجهد الأزموزي osmotic potential في الانابيب الغربالية sieve tubes في هذه المناطق (Giaquinta 1980). ويزداد تركيز السكر في اللحاء عند المصب حيث تنتج السكريات وهنا يؤدي إلى انتقال الماء إلى الانابيب الغربالية من الأنسجة المحيطة .

وهنا بالتالي يؤدي إلى زيادة الضغط الـ hydrostatic مسبباً سريان الماء ونواتج التمثيل إلى المناطق الأقل ضغطاً . ويقل تركيز السكر عند المصب أو المستودع بسبب استعماله . وهنا يؤدي إلى انتقال السكريات من الانابيب الغربالية التي تزيد من جهد الماء وينتقل الماء إلى المصب من الانابيب الغربالية مما يؤدي إلى تقليل الضغط الهيدروستاتي من المصدر إلى المصب .

ويمكن الرجوع إلى Milburn (1975) الذي عرض شرحاً تفصيلياً لنظرية سريان الكتلة .

معدلات الانتقال TRANSLOCATION RATES

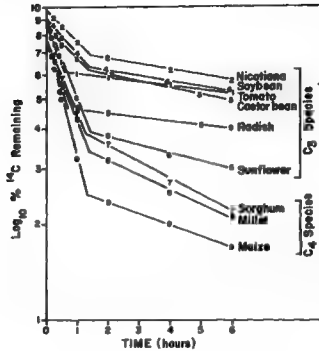
يتأثر المعدل الذي ينتقل به المركب إلى اللحاء بمعدل قبوله بالمصب (تفريغ اللحاء) . كما يؤثر طبيعة المركب الكيميائي على انتقاله في أنسجة اللحاء . والمعدل الذي ينتقل به المركب من المصدر إلى عناصر الأنبوب الغربالي sieve tube elements (تحميل اللحاء) . وتوجد طريقة واحدة لقياس معدل انتقال نواتج التمثيل وذلك بالسماح للأوراق بتمثيل ثاني أكسيد الكربون المشع $^{14}\text{CO}_2$ ثم قياس معدل حركة الكربون المشع ^{14}C من الورقة .

وقد تم قياس سرعة جزئيات الكربون المشعة الأمامية (الأولية) بمعدل أكثر من ٥٠٠ سم / ساعة . إلا أنه عند قياس نواتج التمثيل الكلية فتراوح معدل السرعة من ٣٠ - ١٥٠ سم / ساعة (Salisbury and Ross 1978) وبالنسبة للحاصل تعد السرعة أقل أهمية من تدفق الكتلة النوعي (SMT) specific mass transfer (Canny 1973) وهو عبارة عن وزن نواتج التمثيل المنتقلة بوحدة المقطع العرضي للححاء بوحدة الوقت . لقد تم قياس تدفق الكتلة النوعي لمعد من الأنواع وكانت النتائج متشابهة بشكل مدهش وتراوح من ٣ - ٥ غم / سم^٢ / ساعة (Canny 1960) وتوضح هذه البيانات بأن المقطع العرضي لمنطقة اللحاء قد يحد من معدل الانتقال .

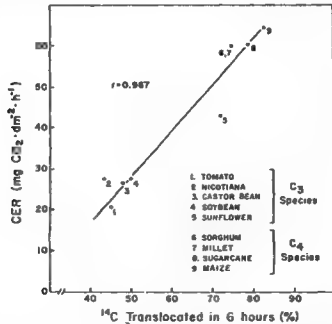
ويبدو ان حجم اللحاء يتكون نسبة الى حجم المصدر او المصب الذي يخدمه على سبيل المثال . ان المقطع العرضي لمنطقة اللحاء في حامل النورة الزهرية *peduncle* لاصناف الحنطة الحديثة اكبر مما هو في السلف (الاجداد) *ancestors* ويرتبط بمعدلات انتقال عالية (Evans et al. 1970) وحقيقة ان المقطع العرضي الكبير يتناسب مع الاوراق الكبيرة وليس الاوراق الصغيرة (Segovia and Brown 1978) هي صفة تخصص بها اوراق النوع الواحد . وعادة يكون هذا صحيح بين اوراق الانواع المختلفة .

وبالرغم من ان المقطع العرضي لمنطقة اللحاء متشابهة تقريبا بين النباتات المختلفة الا انه يبدو وجود انسجة لحاء اكثر مما يحتاجه النبات للقيام بالنقل بصورة كافية . وفي التجارب التي تم فيها تقليل المقطع العرضي للحاء في حامل النورة الزهرية وذلك بعمل شق او جرح لم يثاثر معدل نمو الحبوب في الحنطة او في الذرة البيضاء . اضافة الى ان تقليل المقطع العرضي لمنطقة اللحاء في جذور الحنطة قد ادى الى زيادة تدفق الكتلة النوعي (على اساس المقطع العرضي لمنطقة اللحاء) اكثر من عشر مرات . وعند الاخذ بنظر الاعتبار هذه النتائج يبدو من غير المعقول بان حجم انسجة اللحاء تحدد التدفق او الانتقال من المصدر الى المصب في اغلب المحاصيل .

ويوجد اختلاف في معدلات الانتقال بين الانواع المختلفة . وخاصة بين انواع ثلاثية الكربون C_3 ورباعية الكربون C_4 . ان اوراق انواع رباعية الكربون ذات معدلات اعلى لتبادل ثاني اوكسيد الكربون ، وتكون فيها نسبة المقطع العرضي لمنطقة اللحاء الى مساحة الورقة اكبر . ومعدل الانتقال اعلى مما في اوراق ثلاثية الكربون (Gallaher et al. 1975) . كما ان اوراق انواع رباعية الكربون تصدر نسبة اعلى من نواتج التمثيل خلال ساعات قليلة مما هو الحال في اوراق ثلاثية الكربون (شكل ٣ - ١) . ان فترة تصدير نواتج التمثيل المتطورة في نباتات رباعية الكربون قد تعود الى خواصها التشريحية حيث تحوي خلايا غلاف الحزمة على البلاستيدات (تشرح الصغيرة) او بسبب المساحة الكبيرة للمقطع العرضي للحاء (Hofstra and Nelson 1969; Moss and Rasmussen 1969) . هنا . وهناك دلائل تشير الى ان تحسين تصدير نواتج التمثيل في نباتات رباعية الكربون قد يكون مرتبطاً بمعدلات تبادل ثاني اوكسيد الكربون العالية بدلا من تشرح الورقة (شكل ٣ - ٢) .



شكل (١-٢) يبين لوفاترم ثاني اوكسيد الكربون المشع ^{١٤}C المتبقى في منطقة المعاملة (منطقة التنفيذية) بأوقات مختلفة بعد تمثيل ثاني اوكسيد الكربون المشع من قبل الورقة (Hofstra and Nelson 1969)



شكل (٢-٣) يبين الارتباط بين المعدلات القصوى للتمثيل ونسبة الكربون المشع المتمثل التي تنتقل بسرعة من الأوراق لأنواع مختلفة (Hofstra and Nelson 1969)

تحميل اللحاء (نقل نواتج التمثيل الضوئي من خلايا النسيج الوسيطى للورقة الى عناصر الانبوب الغربالي في اللحاء) . وتفريغ اللحاء (نقل نواتج التمثيل الضوئي عناصر الانبوب الغربالي في اللحاء الى خلايا المصب وقد يكون ذو معدل محدود ويؤثر على الانتقال . وخلال تحميل اللحاء تكون عادة خلايا النسيج الوسيطى ذات جهد اوزموزي اقل $osmotic\ potential$ (جهد ماء عالي) مما في عناصر الانبوب الغربالي . لذا فان تحميل اللحاء يتطلب طاقة لنقل السكريات الى منطقة ذات تركيز أعلى . ويولد تحميل اللحاء زيادة الجهد الاوزموزي في عناصر الانبوب الغربالي مجهزا القوة المحركة لسريان كتلة نواتج التمثيل . وتشمل على انتقال السكريات من خلال كتلة المادة الحية $symplast$ (خلايا النسيج الوسيطى) الى كتلة المادة الميتة $apoplast$ (خلايا الجدران) ومن ثم الى كتلة المادة الحية (خلايا اللحاء) . وقد تساعد الخلايا المرافقة $companion\ cells$ المجاورة

عملية انتقال السكريات الى عناصر الانبوب الغربالي (Giaquinta 1980). وقد يكون سبب المعدل العالي للانتقال في انواع رباعية الكربون وجود خلايا غلاف الحزمة الوعائية التي تحيط اوعية النقل في الورقة وتحوي على البلاستيدات (انظر شكل ١ - ٧) . وفي ظروف وجود الاشعة الضوئية تساعد البلاستيدات الخضراء في توفير طاقة التمثيل الضوئي ATP المطلوبة في تحميل اللحاء . وقد اقترح ايضا بان وجود مستويات عالية من السكروز في الاوراق ربما يكون جهداً اوزموزي في خلايا غلاف الحزمة اعلى من خلايا الانبوب الغربالي المجاورة يساعد على تحميل اللحاء من خلايا منحدر تدرج التركيز (Troughton and Currie 1977).

وعند النهاية الاخرى لعملية الانتقال قد يؤثر تفريغ اللحاء ايضا على المعدل الذي يستلم به المصب نواتج التمثيل . ان الدراسات حول التفريغ نادرة وصعبة الشرح (Giaquinta 1980) . وقد اوضحت بعض الدراسات بأن عملية التفريغ مشابهة الى عملية التحميل في ان السكريات تنتقل من خلال كتلة المادة الحية في اللحاء الى كتلة المادة الميتة ومن ثم تنتقل الى كتلة المادة الحية لخلايا المصب ومع ذلك . هناك دلائل بان التفريغ قد يحدث بالنقل المباشر خلال الكتلة الحية من خلايا اللحاء الى خلايا المصب (McNeil 1976) .

اما الدلائل الحديثة فتشير الى ان التفريغ يحدث باليات مختلفة وبانسجة مختلفة وقد يختلف مع الحالة التكوينية او التطويرية للمصب (Giaquinta 1980) .

توزيع نواتج التمثيل ASSIMILATE PARTITIONING

تتوزع عادة نواتج التمثيل الى المصببات القريبة من المصدر . على سبيل المثال تصدر الاوراق العليا بصورة رئيسية الى قمم السيقان ، والاوراق السفلى الى الجنور والاوراق الوسطية الى كلاهما (Wardlaw 1968) . وحيث ان اتصال الاناييب الغربالية للحاء يكون على جهة واحدة من الساق لذا فان الاوراق التي تكون على تلك الجهة اكثر كفاءة في تصدير نواتج التمثيل الى المصببات الموجودة على نفس الجهة . ولقد تم ملاحظة هذا في محاصيل عديدة (Wardlaw 1969) . على سبيل المثال ، تستورد اوراق فول الصويا العلوية التي تكون في حالة توسع اكثر نواتج التمثيل التي تحتاجها من الورقة الثانية الواقعة اسفلها وعلى نفس الجهة على الساق بدلاً من اقرب ورقة التي تكون على الجهة الاخرى من الساق (Throver 1962) . يحدث عبور الاتصال بين عناصر الانبوب الغربالي في اغلب الانواع . وان بعضها اكثر كفاءة من الاخرى . وتحوي نباتات الحشائش على ارتباط عبور كثيرة عند العقد والذي اساساً يزيل تفضيل طرق نواتج التمثيل من اية ورقة الى اي مصب معين .

العلاقة بين المصدر والمصب والتوزيع

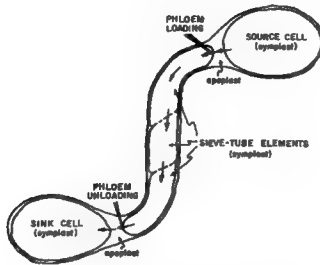
Sink-Source Relationships and Partitioning

يعتقد في الوقت الحاضر بان انتقال نواتج التمثيل من المصدر الى المصب تحدث كما يلي (شكل ٢ - ٣) . تنتج خلايا المصدر السكريات بالتمثيل الضوئي والتي بدورها تنتقل الى الاناييب الغربالية خلال كتلة المادة الحية *symplast* ويؤدي تحميل الحاء الى زيادة تركيز السكر في الاناييب الغربالية اكثر مما في كتلة المادة الميتة (*apoplast*) .

وعند المصب تمتص الكربوهيدرات او انها تتوزع بفعالية الى مخونات الخلية (مثل النشاء) أو أنها تتغير الى كربوهيدرات اخرى التي لها تأثير قليل على الضغط الهيدروستاتي *hydrostatic* في الحاء .

ويؤدي تفرغ الحاء الى خفض تركيز السكريات في الاناييب الغربالية . يولد انتاج وتراكم السكريات عند المصدر وازالتها انحدار تدرج ضغط هايدروستاتي

والذي يحرك الماء والسكريات من المصادر إلى المصبات . hydrostatic pressure gradient



شكل (٣ - ٣) مخطط يوضح انتقال نواتج التمثيل من المصدر إلى المصب

اين تتواجد معوقات حركة نواتج التمثيل من المصادر إلى المصبات ؟
نسبة إلى نظرية الكتلة . ان اي شيء يزيد من التمثيل الضوئي سوف يزيد من الضغط الهيدروستاتي . hydrostatic ومعامل الانتقال . ومع ذلك ان هذا يكون صحيحا فقط عندما تكون المصبات قادرة على استعمال نواتج تمثيل اكثر . اما اذا كانت المصبات غير قادرة على استغلال الزيادة في نواتج التمثيل فيحصل تراكم للسكريات في انظمة النقل مسبباً تثبيط تغذية عكسية مؤدياً إلى تقليل التمثيل الضوئي . (Mondal et al. 1978) . ومن المحتمل بان هذا سوف يؤدي إلى خفض معدل التمثيل الضوئي إلى المعدل الذي تستلم به المصبات نواتج التمثيل . وحتى يكون التمثيل الضوئي في الورقة بمعدلات اقصى قدره لها يجب ان تكون المصبات قادرة على استغلال جميع نواتج التمثيل المنتجة . وتحت هذه الظروف تسيطر قوة المصب على توزيع التمثيل . وهي توفر المصب والمعدل الذي يستطيع به هذا المصب المتوفر استغلال نواتج التمثيل . (Gifford and Evans 1981)

ان العوامل التي تنظم قوة المصب تنظم ايضاً التوزيع في نباتات المحاصيل . ان لتأثير الهرمونات على النشاط الانزيمي ومرونة خلايا المصب تأثيراً كبيراً على التوزيع . وقد ادى اضافة حامض اندول خليك (IAA) والسايتوكينينات والاثيلين وحامض الجبريليك الى اسطح سيقان مقطوعة الى تراكم نواتج التمثيل في منطقة الاضافة (Gifford and Evans 1981)

ان العامل الرئيسى الذي ينظم توزيع السكرز بين مصبات الجنور والسيقان في بادرات الفاصوليا قد اعزى الى تراكم الاوكسين والسايتوكينين (منظمات نمو النبات . انظر الفصل السابع) . في مصبات مختلفة (Gersani et al. 1980) ان لتأثير الهرمونات على نشوء وتكوين واجهاض abortion الازهار والبنور تأثيراً كبيراً على العلاقة بين المصدر والمصب في المحاصيل .

وبالرغم من ان هناك بعض الدلائل بان للهرمونات تأثير مباشر على معدلات الانتقال فقد اوضحت اغلب الدراسات ان تأثيرها غير مباشر من خلال تأثيرها على طلب المصب (Gifford and Evans 1981) .

توزيع نواتج التمثيل خلال مرحلة النمو الخضري

تمد الاوراق والانسجة الخضراء الاخرى المصادر الاساسية لنواتج التمثيل ويبقى قسماً منها في الانسجة الخضراء للمحافظة على ادامة الخلايا . وعندما يكون الانتقال بطيئاً فقد تتحول الى نشاء او بعض المركبات الخزنية الاخرى . اما الجزء المتبقى من نواتج التمثيل فانه يصدر (ينتقل) الى المصبات الخضرية . الذي يقوم بوظائف النمو والادامة والخزن .

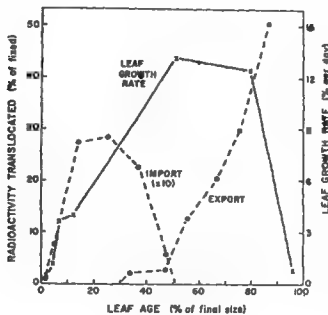
تمد الجذور والاوراق والسيقان مصبات منافسة لنواتج التمثيل اثناء مرحلة النمو الخضري . وان نسب نواتج التمثيل المتوزعة الى هذه الاعضاء الثلاثة يمكنها التأثير على نمو وانتاجية النبات .

وتؤدي مساهمة نواتج التمثيل في تكوين مساحة ورقية كبيرة تقوم باعتراض اكثر لاشعة الشمس . الا ان الاوراق تحتاج ايضاً الى الماء والعناصر الغذائية لذا فمن الضروري نقل نواتج التمثيل الى الجنور .

ان بعض نباتات المحاصيل كمعظم الحشائش لاتملك نمو خلال تكوين النمو الخضري وبذا فهي تشجع التوزيع الى الاوراق والجنور .

تكون بعض المرستيمات في مواقع مفضلة لأعراض نواتج التمثيل ، على سبيل المثال من المرستيمات السطحية او الخارجية في الجنور والسيقان (Evans and Wardlaw 1976).

تحتاج الاوراق حديثة التكوين استيراد نواتج تمثيل لتوفير الطاقة وهياكل التكاثر للنمو والتكوين لحين انتاج كمية كافية من نواتج التمثيل بحيث تصبح قادرة على سد احتياجاتها . لقد بين كل من (Webb and Thrower 1962) و (Gorham 1964) بان اوراق فول الصويا والكوسه قادرة على سد احتياجاتها عندما تصل الى ٥٠ ٪ من مساحتها النهائية (شكل ٣ - ٤) . وبعد وصول الاوراق حجمها النهائي وتوفر ظرووف بيئية جيدة للتمثيل الضوئي ، فانها تصدر ٦٠ - ٨٠ ٪ من نواتج تمثيلها الى مناطق اخرى في النبات (Hofstra and Nelson 1969) . وعند تقدم الورقة بالعمر ووصولها مرحلة الشيخوخة senescence فانها لاتقدر



شكل (٣ - ٤) يمثل تصدير واستيراد نواتج التمثيل الضوئي لورقة فول الصويا وتأثير ذلك بالعمر (Thrower 1962)

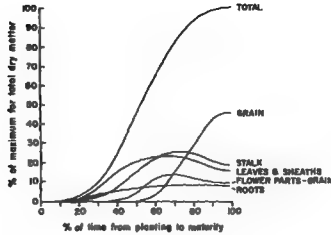
على سد متطلباتها من الطاقة بسبب العمر أو التظليل أو كلاهما . وفي هذه الظروف فإن الورقة لاتصدر ولا تستورد نواتج تمثيل وبدلاً من ذلك فإن متطلبات ادامة الخلايا (التنفس) تنخفض بدرجة كبيرة . والذي يسمح ببقاء الورقة فقط . وقبل موت الاوراق تنتقل الكثير من المركبات العضوية وغير العضوية الى اجزاء النبات الاخرى .

يتطلب نمو التفرعات والاشطاء المبكر استيراد نواتج تمثيل من الساق الرئيسي او الافرع الاخرى الى ان تصبح ذاتية التغذية . ويحصل هذا في الشوفان عادة بين مرحلة ورقتين الى اربعة اوراق (Labanauskas and Dungan 1956) . وسواء ان تصبح الافرع او الاشطاء معتمدة على تغذية نفسها وتستقل عن بقية النبات فان هذا يختلف بين الانواع . وفي حشيش التيموثي , timothy تسلك الاشطاء كوحداث منفصلة عندما تصبح ذاتية التغذية autotrophic (St. Pierre and Wright 1972) ويحدث تداخل قليل بين اشطاء التيموثي حتى تحت ظروف الشد stress . وتمد الجنور الاشطاء المتصلة بها فقط .

وتحت ظروف الشد تبدأ الاشطاء ذاتية التغذية لبعض الانواع مثل حشيش الشيلم (Marshall and Sagar 1968) والشوفان (Labanauskas and Dungan 1956) باستيراد نواتج التمثيل من الساق الرئيس مرة اخرى . ويعتمد تأثير توزيع نواتج التمثيل بين الاشطاء على الحاصل الكلي على مقدار مساهمة المساحة الورقية الاضافية للاشطاء الى الوزن الجاف الكلي للنبات وعلى مقدار مساهمة الاشطاء الى الحاصل المحصول . على سبيل المثال ان اشطاء الذرة الصفراء لا تنتج عادة حبوب .

توزيع نواتج التمثيل خلال مرحلة النمو التكاثري

في اغلب الاحيان يكون النمو التكاثري هو الجزء الاساسي للحاصل المحصول من النبات . وقد انتخبت المحاصيل التي تكون فيها الازهار والثمار والجنور (ومنتجاتها) الحاصل الاقتصادي خلال فترة زمنية لتوزيع مادتها الجافة الى التكاثرية . وفي مثل هذه النباتات يتطلب مساحة كبيرة للقيام بالتمثيل الضوئي وتركيب اسناد قبل تكوين الثمار . وبعد التزهير تصبح الاجزاء التكاثرية مصب قوى جداً والذي يحد من توزيع نواتج التمثيل لنمو اوراق وسيقان وجنور اخرى . وفي الانواع التي يكون فيها النمو محدود determinate يتوقف نمو الاوراق والساق عند التزهير (شكل ٣ - ٥) . بينما في الانواع التي يكون فيها النمو غير محدود indeterminate قد يحصل نمو الاجزاء الخضرية والتكاثرية بنفس



شكل (٣ - ٥) تراكم المادة الجافة في محصول جويي محدد النمو وأجزاء مكوناتها

الوقت . لذا فإن الأنواع التي يكون فيها النمو غير محدود تختلف في القوة النسبية لمصباتها الخضرية والتكاثرية . فإذا كان هناك نمو خضري كبير خلال مرحلة تكوين الأجزاء التكاثرية فإن الحاصل التكاثري ينخفض .

ويكون النمو المبكر خضري في محاصيل الحبوب محدودة النمو مما يسمح للنبات باعتراض طاقة ضوء أكثر للتمثيل الضوئي عندما يزداد حجمه ويسمح بامتصاص كمية من الماء والعناصر كافية لاسناد نمو الورقة . وينتهي تكون عدد الأوراق بالنبات عند نشوء النورة الزهرية ويتأثر بدرجة الحرارة والفترة الضوئية (انظر الفصل الثاني عشر) .

وبعد فترة قصيرة من نشوء البذور . تصبح هي المصبة الدائم في النباتات الحولية . لذا فإن الجزء الأكبر من نواتج التمثيل سواء كان حديث الانتاج او مخزون يستعمل في زيادة وزن البذور أثناء مرحلة امتلائها .

دليل الحصاد HARVEST INDEX

لقد استعمل مصطلحات لتوضيح توزيع المادة الجافة بالنبات هما الحاصل البايولوجي *biological yield* والحاصل الاقتصادي *economic yield* . وقد اقترح تعبير الحاصل البايولوجي من قبل Nichiporovich سنة ١٩٦٠ ليمثل تراكم المادة الجافة الكلية لنظام النبات . استعمل الحاصل الاقتصادي والحاصل الزراعي

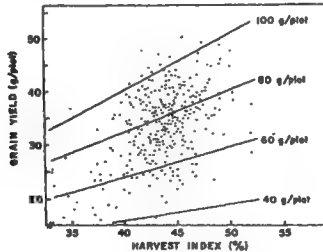
للإشارة إلى حجم أو وزن أجزاء النبات المكونة للنتائج الاقتصادي أو القيمة الزراعية ويسمى جزء الحاصل البايولوجي الممثل للحاصل الاقتصادي بدليل الحصاد

harvest index أو معامل الكفاءة coefficient of effectiveness أو معامل الهجرة migration coefficient وتصف جميع هذه المصطلحات حركة أو انتقال المادة الجافة إلى الجزء المحصود من النبات . ويعد دليل الحصاد أكثر التعابير استعمالاً ويعبر عنه كما يلي :

$$\text{دليل الحصاد} = \frac{\text{الحاصل الاقتصادي}}{\text{الحاصل البايولوجي}} \times 100$$

(ويجب أن نتذكر بأن الحاصل البايولوجي الكلي لا يشمل عادة على وزن الجنود بسبب صعوبة الحصول على قيمتها) .

ويمكن زيادة غلة المحصول اما بزيادة انتاج المادة الجافة الكلية في الحقل أو بزيادة نسبة الحاصل الاقتصادي (دليل الحصاد) أو كلاهما وتوجد قدرة لزيادة الحاصل بكلا الطريقتين . وفي الشوفان (Takeda and Frey 1976) اظهر مجتمع وراثي كبير تباير في كلا الحاصل البايولوجي ودليل الحصاد (شكل ٣ - ٦) . حيث أعطت سلالات الشوفان ذات الحاصل البايولوجي العالي ودليل الحصاد

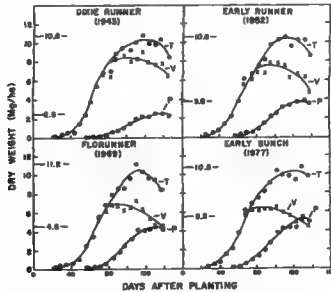


شكل (٦ - ٣) حاصل العيوب لمجتمع وراثي للشوفان وعلاقته بوزن النبات الجاف الكلي (الحاصل البيولوجي) أن جميع النباتات نمت في نفس البيئة . وهنا يشير إلى التباين في فترة نباتات الشوفان على توزيع نواتج تشابها إلى عيوب (Takeda and Frey, 1976)

الذي يتراوح بين ٤٠ - ٥٠ % أعلى حاصل بنور وبين **Crosbie and Mock** (1981) بأن الزيادة في كل من الحاصل البيولوجي ودليل الحصاد كانت المسؤولة عن زيادة حاصل حبوب ثلاث مجتمعات ذرة صفراء .

وتعود الزيادة في حاصل البنور في بعض محاصيل الحبوب أساساً الى الزيادة في دليل الحصاد . وبعبارة أخرى ، ان النباتات لا تنتج مادة جافة كلية أكثر الا انها توزع أكثر مادتها الجافة الى حاصل البنور . وذكر **Donald and Hamblin** (1976) ان زيادة حاصل البنور في محاصيل الحبوب الصغيرة يعود أساساً الى زيادة دليل الحصاد .

أوضحت الدراسات التي أجريت على فسق الحقل نفس الظاهرة (**Duncan et al. 1978** (شكل ٣ - ٧) . وقد طور في سنة ١٩٤٣ الصنفان 'Dixie' و 'Runner' وهي ذات دليل حصاد يساوي ٢٣ وحاصل بيولوجي مقداره ١٠.٨ طن / هكتار . وفي سنة ١٩٥٢ أظهر الصنف 'Early Runner' زيادة في حاصل البنور مقداره ٥٠ % أكثر من الصنف 'Dixie Runner' ويعود ذلك أساساً الى زيادة دليل



شكل (٣ - ٧) يبين الحاصل الاقتصادي (P) ، ووزن الجزء العلوي للنبات (V) ، والوزن الجاف الكلي أو الحاصل البيولوجي (T) لاصناف فسق الحقل 'Dixie Runner' و 'Early Runner' و 'Florunner' و 'Early Bunch' . لاحظ ان الحاصل البيولوجي بقي ثابت تقريباً بينما ازاد الحاصل الاقتصادي من ٢.٥ Mg/هكتار الى ٥.٥ Mg/هكتار كلما تحسنت الاصناف (**Duncan et al. 1978**).

الحصاد المساوي الى ٣٦ . وفي سنة ١٩٦٩ اعطى الصنف 'Florunner' زيادة مقدارها ٢٠ ٪ في حاصل البنور على الصنف 'Early Runner' بسبب زيادة دليل الحصاد الى ٤١ . وفي سنة ١٩٧٧ اظهر الصنف 'Early Bunch' زيادة مقدارها ١٠ ٪ في حاصل البنور على الصنف 'Florunner' بسبب دليل الحصاد المساوي الى ما يقارب ٥١ . في حين نرى ان حاصل المادة الجافة الكلية للاصناف الثلاثة اساساً متساوي . والسؤال المطروح الان على مربى النبات هو هل انهم يجب ان ينتجوا نباتات ذات دليل حصاد اكثر حتى من ٥١ اذا كان ذلك ممكناً . او بدلاً من ذلك تربية نباتات تعطي حاصل مادة جافة اكثر وبفسر الوقت تكون ذات دليل حصاد يساوي ٥١ . ومن الواضح جداً ان هناك حدود لا يمكن بعدها زيادة حاصل المادة الجافة الكلية التي بإمكانها ان تتحول الى بنور بكفاءة .

مكونات العاصل YIELD COMPONENTS

حاصل الحبوب عبارة عن ناتج لعدد من الاجزاء تسمى مكونات العاصل ويمكن التعبير عنها كما يلي :

$$Y = N_r N_s W_s$$

حيث ان Y = حاصل الحبوب .

N_r = عدد الوحدات الانتاجية (مثل السنابل العرائص أو الرؤوس)

N_s = عدد الحبوب بالوحدة الانتاجية .

W_s = معدل وزن الحبة .

تتأثر مكونات العاصل بخدمة المحصول والتركيب الوراثي والبيئة والتي غالباً ما تساعد في تفسير لماذا يحدث انخفاض في العاصل (جدول ٢ - ١) .

وقد يؤثر التركيب الوراثي على القدرة على البزوغ وتكوين الاشطاء وعدد الازهار . وعدد الازهار التي تطور الى بذور . وكمية نواتج التمثيل وتوزيعها . وتأثير العوامل البيئية على قابلية النبات على اظهار قدراته الوراثية . وتشمل عوامل رعاية المحصول على هذه البنور المزروعة وقابلية المنتج على توفير ظروف نمو بيئية ملائمة لانتاج اقصى حد من العاصل . واذا كانت العوامل البيئية التي تشمل على الماء والعناصر الغذائية ودرجة الحرارة والضوء بمستويات غير مثالية فانها سوف تقلل احد مكونات العاصل أو اكثر . وتوضح الاشكال في الفصل الرابع (٤ - ١٧) . (٤ - ١٨) . (٤ - ١٩) تأثير شد الماء على العاصل ومكوناته .

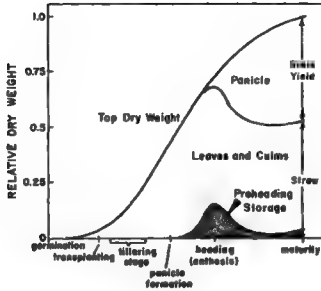
جدول (٩-١) مكونات حاصل الصوب ، المواد المؤثرة عليها ، ومراحل التكوين التي تتأثر بها

المرز	مكون الحاصل	المواد الرئيسية المؤثرة على مكونات الحاصل	مرحلة التكوين ومعدل التأثير	مرحلة انتشار الصوب
N ₁	الروحات الانتاجية	عدد النباتات / مساحة الارض	كبير	مرحلة التبريد
	مساحة الارض	معدل البذور البنوع الانتقاء	صغير	التأثير المؤخر المبكر
	الروحات الانتاجية	عدد الإزهار السكونية	كبير	التأثير
	الصوب / وحدة الانتاجية	عدد الإزهار الملقحة عدد الإزهار الملقحة المتأثرة	كبير	التأثير
N ₂	الزيتون / حبة	جاذبية نواحي التمثيل	كبير	كبير
			كبير	كبير

ملاحظة . كبير يشير الى ان مرحلة التكوين تتأثر بمراحل الاداء والبيئة والتربة التي لها تأثير رئيسي على مكونات الحاصل . صغير يشير الى تأثير قليل على مرحلة التكوين . (....) يشير الى ان التأثير قليل جداً أو معدوم . (H) يشير الى وجود تماثل بين مكونات الحاصل . اما ان كان وجوده بعد كبير من الروحات الانتاجية وكذلك عدد كبير من الصوب بالمساحة الانتاجية فان الصوب تكون ذات وزن قليل حتى حد توفر ظروف جيدة مثالية أثناء الانتاج لان نتائج التمثيل سوف تنقسم بين عدد كبير من الصوب . وفي حالة تقليل عدد الصوب بالمساحة الانتاجية بسبب الظروف البيئية ربما سوف ينعكس صوب تلك بسبب ان نتائج التمثيل سوف تتوزع بين عدد قليل من الصوب .

تنتقل نواتج التمثيل بعد انتاجها مباشرة الى مناطق عديدة في النبات . ويمكن ان تتحول الى مركبات عديدة . بعضها مركبات تركيبية مثل السيلبوز والهيمسيلبوز التي تعطي التركيب الفيزيائي للنبات وتبقى عادة في اماكن تمثيلها . ولا تمتلك خلايا النبات أنظمة انزيمية يمكنها تحليل المركبات التركيبية الا ان العديد من مركبات الخزن هذه يمكن اعادة تغييرها الى اشكال تستطيع الانتقال الى مناطق أخرى في النبات . وتعد هذه المركبات الخزينة مهمة في استمرار المحافظة على النمو والتطور بالرغم من التغيرات الحاصلة في التمثيل الضوئي . وتشمل المركبات المخزونة بالدرجة الرئيسية على الكاربوهيدرات وقد تشمل احياناً على كمية مهمة من الليبيدات والبروتينات وتسمى حركة المركبات من مناطق خزنها الى مناطق استعمالها اعادة الانتقال *remobilization* . وتنتج نواتج تمثيل اكثر مما يستعمل في النمو والتكوين في بعض مراحل تطوير ونمو النبات وتتحول هذه الزيادة الى مركبات خزن . وعند المراحل الاخيرة من النمو مثل تكوين الثمار عندما يكون التمثيل الضوئي غير قادر على سد متطلبات مصبات النبات من نواتج التمثيل فتعاد حركة انتقال المركبات المخزونة الى مناطق فعالة مثل تكوين البذور . وتحدث اعادة انتقال المواد المخزونة للمركبات العضوية وغير العضوية . وخلال شيخوخة الاوراق يعاد انتقال الكاربوهيدرات والمركبات النتروجينية والفسفور والكبريت والعناصر الاخرى ذات القدرة على الانتقال الى مصبات النبات الحديثة .

ويوضح شكل (٣ - ٨) اعادة انتقال المركبات في نبات الرز . وتكون نواتج التمثيل المنتجة بعملية التمثيل الضوئي اثناء مرحلة تكوين السنابل والتزهير اكثر من حاجة هاتين العمليتين . لذا فان نواتج التمثيل الزائدة تنتقل الى الساق وتخزن بصورة رئيسية على هيئة نشاء وعند وصول النبات مرحلة امتلاء الحبوب يتحول النشاء الى سكريات تنتقل للمليء الحبوب .



شكل (٣ - أ) يوضح التغير في كمية الكاربوهيدرات المخزنة مؤقتاً (قبل مرحلة ظهور النورة الزهرية) والوزن الجاف لأجزاء النبات المختلفة حسب مراحل نمو البرز (Murata and Matsushima 1975)

توزيع نواتج التمثيل خلال مرحلة امتلاء الحبوب

تأتي نواتج التمثيل الضوئي المتراكمة في الحبوب من ثلاثة مصادر هي ، التمثيل الضوئي الحديث للأوراق والتمثيل الضوئي الحديث للأجزاء غير الورقية وإعادة انتقال نواتج التمثيل المخزنة في أجزاء أخرى من النبات . ويؤثر النوع والبيئة على مدى مساهمة كل من هذه العوامل في الحاصل النهائي للحبوب .

لقد تم دراسة توزيع التمثيل بصورة مستفيضة في محاصيل الحبوب الصغيرة وأظهرت الدراسات التي أجريت على الحنطة والشعير بأن التمثيل الضوئي لورقة العلم flag leaf والساق والسنبلة وهي المصادر القريبة من الحبوب وهي المساهم الرئيسي لحاصل الحبوب . تجهز الأوراق السفلى حاجة الجزء السفلي من الساق والجنود (Lupton 1966; Wardlaw 1968). تؤثر قوة البذور كمعصب وجاهزية وقوة المصدر النسبية على توزيع نواتج التمثيل وعندما تزال الأوراق العلوية من النبات فإن الأوراق السفلية تقوم بتجهيز الحبوب بنواتج التمثيل . وعندما تزال الأوراق

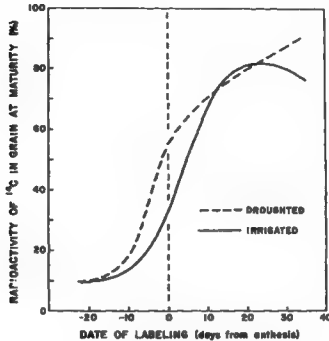
المغلية فان ورقة العلم سوف تجهز الجنور بنواتج التمثيل (Marshall and Wardlaw 1973) من المفيد معرفة مقدار مساهمة كل مصدر لحاصل الحبوب ومقدار الاختلاف

بينها . اظهرت الدراسات الاولية عند تظليل سنايل الحنطة والشعير انخفاض في وزن الحبوب بمقداره ٢٠ - ٣٠ % (Porter et al 1959) . وباستعمال التظليل وقياس التمثيل الضوئي حيث حسب هؤلاء الباحثون مساهمة مصادر التمثيل الضوئي المختلفة للحاصل النهائي للحبوب . فوجدوا بأن مساهمة التمثيل الضوئي قبل التزهير (نواتج التمثيل المعاد انتقالها) كان ٢٥ % وكان التمثيل الضوئي الحديث للاوراق والساق ٤٥ % وساهم التمثيل الضوئي للسنبلة بمقدار ٣٠ % . وقد أيدت نتائج الدراسات الحديثة التي استخدم فيها طرق متطورة جداً النسب المذكورة سلفاً (جدول ٣ - ٢) . وتؤدي شدة الجفاف اثناء فترة امتلاء الحبوب الى تناقص حاصل الحبوب بسبب تقليل التمثيل الضوئي . لذا فان طلب المصن لمليء الحبوب يؤدي الى استخدام نواتج التمثيل المخزونة المعاد انتقالها . مما ينتج عنه مساهمة من نواتج التمثيل المخزونة بنسبة عالية (جدول ٣ - ٢) . وبالرغم من ان المركبات التي يعاد انتقالها ثانية تمد احدى المكونات المهمة في حاصل الحبوب الا ان التمثيل الضوئي خلال مرحلة امتلاء الحبوب يعد المصدر الرئيسي المهم في زيادة وزن حاصل الحبوب وهذا بسبب ان اكثر نواتج التمثيل قبل مرحلة امتلاء الحبوب قد

جدول (٣ - ٢) مساهمة التمثيل الضوئي قبل التزهير في حاصل حبوب الحنطة والشعير في ظروف نمو رطبة وجافة .

الباحث	النوع	ظروف النمو	حاصل الحبوب حاصل الحبوب	مساهمة التمثيل
			(غم / م ^٢)	الضوئي قبل التزهير
			من انتقال	(%)
			نواتج التمثيل	
			المخزونة (غم/م ^٢)	
Austin et al. (1980)	الشعير	جافة	٦٧٣	٧٤
		رطبة	٣٠٢	١٣٣
Bidinger et al. (1977)	الشعير	جافة	٥٣٠	٦٥
		رطبة	٣٨٤	٦٧
	الحنطة	جافة	٥٠٩	٦٤
		رطبة	٢٩٤	٧٩

استعملت في النمو الخضري وتكوين الازهار . بينما تستعمل نواتج التمثيل خلال مرحلة امتلاء الحبوب لهذه العملية (شكل ٣ - ٩) .



شكل (٩ - ٣) اجزاء الكربون المشع ^{14}C الموجودة في حبوب الحنطة والشعير عند نضج النبات كدالة لوقت التمثيل (عدد الايام من التزهير) (Bidinger et al. 1977)

وحيث ان سنايل محاصيل الحبوب الصغيرة تقع في قمة الكساء الخضري وفي ظروف اضاءة للتمثيل الضوئي كما وان نواتج التمثيل تكون بالقرب من الحبوب فمن المتوقع ان يساهم التمثيل الضوئي للسنبلة بدرجة كبيرة في حاصل الحبوب . ان انواع الحنطة البدائية ذات حاصل منخفض لذا فان مصبها ذو طلب منخفض مقارنة مع انواع الحنطة الحديثة . ان اصناف الحنطة التي طورت لانتاج حاصل عالي تكون ذات توزيع كبير لنواتج التمثيل من الاوراق العلوية (Evans and Dunstone 1970) وقد يؤدي زيادة التمثيل الضوئي للسنايل الى زيادة الحاصل . واحدى الطرق للقيام بذلك هو اضافة السلفا *awns* (وهو امتداد رفيع للقمع *glume* أو القنابة *lemma*) والتي اظهرت مضاعفة معدل التمثيل الضوئي (McDonough and Gauch 1959) . وقد اظهرت نتائج دراسات عديدة اجريت في بيئات جافة ورطبة جافة بان سلالات الحنطة ذات السفا اعطت حاصلًا

اعلى من حاصل السلالات المشابهة لها وراثياً ما عدى عدم وجود السفا بحوالي ١٢ ٪
(Suneson et. al. 1948; McDonough and Gauch 1959) .

وقد اوضح نفس التأثير وذلك بازالة السفا الذي ادى الى نقص في الحاصل مقدارها
٢١ ٪ (Saghir et. al. 1968) .

ان التأثير الرئيسي للسفا على مكونات الحاصل هو زيادة وزن الحبة
(Suneson et al. 1948) . وواضح Lupton سنة ١٩٦٦ ان كمية توزيع نواتج
التمثيل من القنايع واوراق العلم الى البنور تزداد بتقدم امتلاء البنور وبما ان
القنايع اقرب عضو الى الحبة لنا فانها توزع نواتج تمثيل اليها بنسبة اكبر من ورقة
العلم (جدول ٣ - ٢) . لم يؤدي السفا الى زيادة الحاصل في المناطق الرطبة ربما
بسبب زيادة حساسية النبات للأمراض والاضطجاع (McKenzie 1972) .

جدول (٢ - ٢) كمية الكربون المشع ^{١٤}C المتبقى في العضو المعامل او المنتقل
الى الجيوب بعد سبعة ايام من معاملة القنايع أو ورقة العلم في الحنطة

الكربون المشع المتبقى في العضو المعامل (٪)		الكربون المشع في الجيوب (٪)	
القنايع	ورقة العلم	القنايع	ورقة العلم
٤٩	٣٧	٤٦	٤٥
٢٣	١٩	٧٢	٧٢
١٤	٢٠	٨٤	٧٥

المصدر: Lupton 1966

وفي النرة الصفراء يقع العرنوص ear في منتصف الساق . وتأتي اغلب أوجع
نواتج التمثيل المنتجة من الاوراق أو الاغدة sheaths . وتساهم الاوراق العلوية
بحوالي ٨٥ ٪ من نواتج التمثيل الى العرنوص في مرحلة امتلاء الجيوب . وتساهم
الاوراق السفلية في امداد الجذر والساق وادامة الاوراق بنواتج التمثيل اضافة الى زيادة

وزن المرنوس وبالمقارنة مع الحبوب الصغيرة نجد ان جميع الاوراق في الذرة الصفراء تساهم ببعض نواتج التمثيل الى حاصل الحبوب (جدول ٣ - ٤)

جدول (٣ - ٤) نسبة الكاربون المشع ^{14}C المتوزعة على اجزاء الذرة الصفراء المختلفة من ورقة اعطيت الكاربون المشع $^{14}\text{CO}_2$ قبل اربعة ايام .

نسبة الكاربون المشع الذي وجد في جزء النبات							
بعد التزهير				عند التزهير			
ثاني لوكسيد الكاربون المشع المضاف الى الورقة في الساق				ثاني لوكسيد الكاربون المشع المضاف الى الورقة في الساق			
١	٢	٣	٤	١	٢	٣	٤
الورقة	١	٢	٣	٤	١	٢	٣
النورة الذكورية	٢٢	—	—	—	٢٢	—	—
الساق ١	١٩	١٥	—	٥	٢٢	—	—
الساق ٢	٤٠	٦٢	٣	٨٣	٨٥	٦٥	٤٥
المرنوس	٨	١٢	٢٣	٨	٢	٢٣	٨
الساق ٣	٤	٦	٢٩	٦٥	—	١١	٤٠
الساق ٤	٢	٥	٢٥	٧٤	—	١	٨
الجنور							

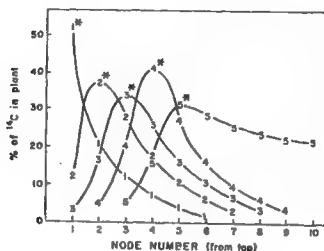
Eastin 1969

المصدر /

- ١ - تم اجراء التيلسات عند التفتح وخلال مرحلة امتلاء الحبوب (بعد التزهير) .
- ٢ - تم ترقيم الاوراق والمقد من الاعلى الى الاسفل . السيقان تشمل على الاوراق والاضاد والساق .
- ٣ - يشمل الساق ١ على المقعدة الثالثة واعلى ، والساق ٢ من المقعدة الثالثة الى المرنوس (عادة المقعدة ٧) ، والساق ٣ يشمل من مقعدة المرنوس الى المقعدة الماثرة . والساق ٤ من المقعدة الماثرة الى القاعدة .
- (-) يشير الى قياس كمية خشية جذاً .

لا يختلف إعادة انتقال النواتج المخزونة في الساق في اصناف الذرة الصفراء المتطورة حديثاً عن الاصناف البدائية (Valle 1981) . ويوجد ارتباط موجب بين المخزون الاحتياطي في الساق وقوة الساق . ويعني قلة المواد المخزونة ضعف السيقان . والتي تشجع مهاجمة الاحياء المسببة لمرض تعفن الساق . ويبدو واضحاً بان اصناف الذرة الصفراء المستنبطة حديثاً تنتخب على اساس قوة إعادة انتقال المواد المخزونة . لذا فان النباتات تحافظ على مقاومة الاضطجاع .

وفي فول الصويا حيث تنمو وتكون البذور على اغلب او جميع العقد يكون نمط الانتقال من كل ورقة متشابهاً . وتنتقل اكثر نواتج التمثيل من الورقة الى القرنات التي تنمو من نفس العقدة . اما المتبقي فينتقل الى العقد العلوية والسفلية (شكل ٣-١٠) . وتحفظ الاوراق السفلية بنواتج تمثيل اكثر من العقد العلوية . وقد يكون بسبب قلة شدة الاضاءة المسببة الى انخفاض نواتج التمثيل (Shibbole et. al. 1975)



شكل (٣-١٠) توزيع الكاربون المشع ¹⁴C المضاف الى الورقة (التجمعة) لعدد من عقد نبات فول الصويا خلال مرحلة امتلاء البذور وقد ازيلت جميع الاوراق ماعدا الخامسة التي غيرت التوزيع في العقدة الخامسة (From Belikov and Pirski 1966)

الخلاصة

يحصل توزيع نواتج التمثيل في النبات في اللحاء حيث تنتقل نواتج التمثيل من مصادر التمثيل الى المصبات . تمثل خلايا المصدر السكريات التي تنتقل الى كتلة المادة الميتة *apoplast* حول اللحاء وتدخل هذه السكريات بنشاط الى اللحاء (تحميل اللحاء) . الذي يؤدي الى زيادة الضغط الهيدروستاتيكي *hydrostatic* في منطقة اللحاء بزيادة امتصاص الماء . وتنتقل نواتج التمثيل الى المصبات حيث ان ازالة السكريات من كتلة المادة الميتة حول اللحاء تسبب انتقال السكريات والماء خارج اللحاء (تفريغ اللحاء) مسببا انخفاض الضغط الهيدروستاتيكي في تلك المنطقة من اللحاء .

اما بالنسبة للحاصل فان توزيع نواتج التمثيل مهم في مرحلتي النمو الخضري والنمو التكاثري . يحدد التوزيع خلال مرحلة النمو الخضري المساحة النهائية للاوراق وتطور الجنور والتفرعات . ان مساهمة توظيف نواتج التمثيل في نمو النبات خلال مرحلة النمو الخضري يحدد الانتاجية في المرحلة الاخيرة من التكوين . ويشمل على عدد البنور قبل التزهير ويعد التوزيع خلال مرحلة النمو التكاثري مهم لازهار وثمار وبنور المحاصيل . ويمكن لنواتج التمثيل ان تتوزع سواء كانت من التمثيل الضوئي الحديث او من التمثيل الضوئي للاجزاء غير الورقية او من اعادة انتقال المواد المخزونة . وتعتمد نسبة نواتج التمثيل الاتية من كل مصدر على التركيب السوراثي والبيئة .

ولاجل انتاج حاصل عالي يجب ان ينتج المحصول بسرعة دليل مساحة ورقية كافية لاعتراض اغلب الضوء لانتاج اقصى مادة جافة . ويجب بعد ذلك المحافظة على اعتراض عالي لاشعة الشمس . ويجب توزيع نواتج التمثيل باكبر كمية ممكنة الى الاعضاء ذات القيمة الاقتصادية بدون أي تأثير على النوعية أو الحصاد .

References

- Austin, R. B., C. L. Morgan, M. A. Ford, and R. D. Blackwell. 1980. *Ann. Bot.* 44:309-19.
- Belikov, I. F., and L. I. Pirsikii. 1966. *Sov. Plant Physiol.* 13:361-64.
- Bidinger, F., R. B. Musgrave, and R. A. Fischer. 1977. *Nature* 270:431-33.
- Canny, M. J. 1960. *Biol. Rev.* 35:507-32.
- . 1973. *Phloem Translocation*. London and New York: Cambridge University Press.
- Crosbie, T. M., and J. J. Mock. 1981. *Crop Sci.* 21:255-59.
- Donald, C. M., and J. Hamblin. 1976. *Adv. Agron.* 28:361-405.
- Duncan, W. G., D. E. McCloud, R. L. McGraw, and K. J. Boote. 1978. *Crop Sci.* 18:1015-20.
- Eastin, J. A. 1969. *Proc. 24th Annu. Corn Sorghum Res. Conf. Washington, D.C.*: American Seed Association.
- Evans, L. T., and R. C. Dunstone. 1970. *Aust. J. Biol. Sci.* 23:725-41.
- Evans, L. T., and I. F. Wardlaw. 1976. *Adv. Agron.* 28:301-59.
- Evans, L. T., R. L. Dunstone, H. M. Rawson, and R. F. Williams. 1970. *Aust. J. Biol. Sci.* 23:743-52.
- Gallaher, R. N., D. A. Ashley, and R. H. Brown. 1975. *Crop Sci.* 15:55-59.
- Gersani, M., S. H. Lips, and T. Sachs. 1980. *J. Exp. Bot.* 31:177-84.
- Gisquinta, R. T. 1980. *Biochem. Plants* 3:271-320.
- GiFord, R. M., and L. T. Evans. 1981. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 32:485-509.
- Hofstra, G., and C. P. Nelson. 1969. *Planta* 88:103-12.
- Labanauskas, C. K., and G. H. Dungan. 1956. *Agron. J.* 48:265-68.
- Lupton, F. G. H. 1966. *Ann. Appl. Biol.* 57:355-64.
- McDonough, W. T., and H. G. Gauch. 1959. *Maryland Agric. Exp. Stn. Bull.* A103, pp. 1-16.
- McKenzie, H. 1972. *Can. J. Plant Sci.* 52:81-87.
- McNeil, D. L. 1976. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:311-24.
- Marshall, C., and G. R. Sagar. 1968. *J. Exp. Bot.* 19:785-94.
- Marshall, C., and I. F. Wardlaw. 1973. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:1-13.
- Milburn, J. A. 1975. In *Transport in Plants*, ed. M. H. Zimmerman and J. A. Milburn. Berlin and New York: Springer-Verlag.
- Mondal, M. H., W. A. Brun, and M. L. Brenner. 1978. *Plant Physiol.* 61:394-97.
- Moorby, J., M. Ebert, and L. T. Evans. 1963. *J. Exp. Bot.* 14:210-20.
- Moss, D. N., and H. P. Rasmussen. 1969. *Plant Physiol.* 44:1063-68.
- Muchow, R. C., and G. L. Wilson. 1976. *Aust. J. Agric. Res.* 27:489-500.
- Munch, E. 1930. *Die Stoffbewegungen in Der Pflanze [Translocation in Plants]*. Jena: Fischer.
- Murata, Y., and S. Matsushima. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Nichiporovich, A. A. 1960. *Field Crop Abstr.* 13:169-75.
- Porter, H. K., N. Pal, and R. V. Martin. 1950. *Ann. Bot. n.s.* 15:55-67.
- Saghir, A. R., A. R. Khan, and W. Worzella. 1968. *Agron. J.* 60:95-97.
- St. Pierre, J. C., and M. J. Wright. 1972. *Crop Sci.* 12:191-94.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 1978. *Plant Physiology*. Belmont, Calif.: Wadsworth.
- Segovia, A. J., and R. H. Brown. 1978. *Crop Sci.* 18:90-93.
- Shibles, R. M., I. C. Anderson, and A. H. Bigson. 1975. *Agron. J.* 60:95-97.
- Suneson, C. A., B. B. Bayles, and C. C. Fifield. 1948. *USDA Circ.* 783, pp. 1-8.
- Takeda, K., and K. J. Frey. 1976. *Crop Sci.* 16:817-21.
- Thrower, S. L. 1962. *Aust. J. Biol. Sci.* 15:629-49.
- Troughton, J. H., and B. G. Currie. 1977. *Plant Physiol.* 59:808-20.

- Valle, M. R. R. 1981. Ph.D. diss., University of Florida, Gainesville.
Wardlaw, I. F. 1968. Bot. Rev. 34:79-105.
Wardlaw, I. F., and L. Moncur. 1976. Planta 128:43-100.
Webb, J. A., and P. R. Gorham. 1964. Plant Physiol. 39:663-72.



علاقات الماء

Water Relations

يعد الماء المحتوى الرئيسي لنباتات المحاصيل العشبية التي تنمو بسرعة . ويختلف المحتوى المائي بين ٧٠ - ٩٠ ٪ اعتماداً على العمر والنوع والنسيج النباتي والظروف البيئية . والماء ضروري ويقوم بوظائف عديدة في النبات ،

- ١ - مذيب ووسط للتفاعلات الكيميائية .
- ٢ - وسط لنقل المواد المذابة المضيوية وغير المضيوية .
- ٣ - الوسط الذي يعطي الامتلاء *turgor* . وان الامتلاء يشجع التوسع الخلوي وتركيب النبات وعرض الاجزاء الخضرية .
- ٤ - تمسيء وتعادل الشحنات على الجزيئات الغروية . وبالنسبة للانزيمات يساعد اتحاد الماء على المحافظة على التركيب والقيام بوظائفها في انجاز التفاعلات .
- ٥ - الماء مادة اولية في التمثيل الضوئي وعمليات التحلل المائي والتفاعلات الاخرى في النبات .
- ٦ - يؤدي تبخر الماء (النتح *transpiration*) الى تبريد اسطح النبات .

تنمو او تعيش الجنور في الظروف الحقلية في تربة رطبة نسبياً بينما تنمو السيقان والاوراق في جو جاف نسبياً . وهذا يسبب استمرار سريان الماء من التربة خلال النبات الى الجو على طول منحدر تدرج انخفاض جهد الطاقة . وسريان الماء هنا على الاساس اليومي يعادل ١ - ١٠ مرات كمية الماء التي يحتفظ بها النبات في انسجته ، و ١٠ - ١٠٠ مرة بمقدار ما يستعمله في تكوين خلايا جديدة و ١٠٠ - ١٠٠٠ مرة بمقدار ما يستخدمه في التمثيل الضوئي

(Jarvis 1975) . لذا فان حركة الماء الرئيسية من التربة الى الاوراق هو لتعويض الفقد الحاصل بالنتح .

وبسبب الطلب العالي للماء وأهميته فإن النبات يحتاج الى مصدر مستمر للماء للنمو والتكوين . ويؤدي نقص الماء في اية مرحلة من حياة النبات الى نقص النمو وأحياناً نقص الحاصل أيضاً . وتأثير كمية النقص في الحاصل على التركيب الوراثي وشدة نقص الماء ومرحلة تكوين ونمو النبات .

جهد الماء : Water Potential

يعتمد النظام الذي يوضح سلوك الماء وحركته بالتربة والنبات على اساس علاقة طاقة الجهد potential energy relationship . والماء يمتلك القدرة على القيام بعمل . فهو ينتقل من منطقة ذات جهد عالي الى منطقة ذات جهد منخفض . ويعبر عن طاقة الجهد في نظام سائل بمقارنته مع طاقة جهد الماء النقي . وحيث ان ماء النباتات والتراب لا يكون عادة نقي كيميائياً بسبب وجود المواد الذائبة ويكون فيزيائياً مرتبط بقوى مثل الجذب القطبي والجذب الارضي والضغط . فان طاقة الجهد تكون اقل من طاقة جهد الماء النقي . وتسمى طاقة الجهد في النبات والتربة بجهد الماء *water potential* . ويرمز له بالحرف الاغريقي (ψ) ويعبر عنه كقوة بوحدة المساحة . وان وحدة القياس المستخدمة هي بار *bar* او باسكال *Pascal* . حيث ان ابار = 10^5 باسكال = 10^5 داين / سم² = 10^9 dynes . ضغط جوي أو 10^5 جيو / كغم = 10^5 . ان جهد الماء للماء النقي يساوي صفر بار . اما جهد الماء في النباتات والتراب فهو عادة اقل من صفر بار وهذا يعني انه ذو قيمة سالبة . وكلما زادت القيمة السالبة دل على انخفاض جهد الماء .

ان جهد الماء للنباتات والتراب عبارة عن مجموع لعدد من مكونات الجهد :

$$\psi_m = \psi_s + \psi_p + \psi_r + \psi_a$$

حيث ان :

ψ_m = جهد الحشوة او الجهد الحبيبي *matrix potential* . القوة التي يملك بها الماء بالنبات مكونات التربة بقوة الامصاص *adsorption* والخاصية الشعرية *capillarity*

ويمكن ازالة الماء فقد بواسطة قوة لنا فهو ذو قيمة سالبة .

٧. = جهد المذاب *solute potential* (الجهد الاوزموزي *potential osmotic*) وهي طاقة جهد الماء المتأثرة بتركيز المذاب . تؤدي المواد المذابة الى خفض طاقة جهد الماء مولداً محلول ذو جهد ماء سالب .

٨. = جهد الضغط *pressure potential* (ضغط الامتلاء *turgor pressure*) وهو القوة المتسببة بالضغط الهيدروستاتيكي *hydrostatic pressure* . وبما انها قوة لذا فهي ذات قيمة موجبة . وعادة تكون اهميتها قليلة جداً في الترب الا انها ذات اهمية رئيسية في خلايا النبات الذي سوف يوضح لاحقاً .

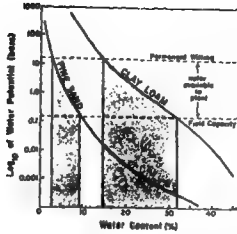
٩. = جهد الجذب الارضي *gravitational potential* وهو دائماً موجود الا انه عادة غير مهم في النباتات القصيرة مقارنة مع الجهود الثلاثة الاخرى . ويمكن ان يكون مهم في الاشجار الطويلة .

جاهزية ماء التربة SOIL WATER AVAILABILITY

تنمو جنور النباتات في التربة الرطبة وتستخلص الماء حتى تصل التربة الى جهد الماء الحرج *critical water potential* . ويسمى الماء الذي تمتصه جنور النباتات من التربة بالماء الجاهز او المتيسر *available water* . وهو الفرق بين كمية الماء في التربة عند السعة الحقلية *field capacity* (الماء الممسوك بالتربة ضد قوة الجذب) وكمية الماء في التربة عند نسبة الذبول الدائم *permanent wilting percent age* (وهي نسبة رطوبة التربة التي يذبل عندها النبات ويستعيد نموه في جو رطوبته النسبية ١٠٠ ٪) .

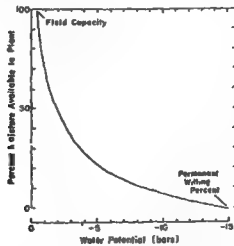
تتأثر جاهزية رطوبة التربة بالخواص الفروية (مثل مساحة سطح جزئيات التربة) . تمسك التربة الطينية الغرينية حوالي ٢٠ ٪ من وزنها رطوبة جاهزة . بينما تمسك التربة ذات النسجة الخشنة مثل الرمل الناعم حوالي ٧ ٪ فقط (شكل ١ - ٤) . وعلى اساس حجم التربة تمسك التربة الطينية الغرينية عند السعة الحقلية حوالي ١٧ سم ماء جاهز لكل متر عمق تربة بينما تمسك الترب الرملية الناعمة اقل من ٨ سم . ويمكن ان تجهز التربة المزيجية الناعمة عند السعة الحقلية حوالي ٢٥ سم (١٠ إنچ) من الماء الى النبات ذو الجنور المتعمقة الى حوالي ١.٥ م (٥ قدم) في التربة .

ويتأثر جهد الماء في التربة الزراعية بالدرجة الرئيسية بجهد الحشوة او الجهد الحبيبي *matrix potential* . وبالدرجة الثانوية بجهد المذاب . ويمكن عمل



شكل (١ - ١) جهد الماء للتربة رملية ناعمة وأخرى مزيجية غرينية عند مستويات ماء مختلفة . لاحظ بان ماء التربة الجاهز المسلولي الى ٢٠ ٪ في التربة المزيجية .

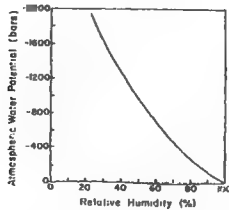
علاقة بين جهد ماء التربة عند السعة العقلية ونسبة الذبول الدائم . ان جهد ماء التربة عند السعة العقلية حوالي (٠.١ الى - ٠.٣ بار) . وتختلف نسبة الذبول الدائم بين انواع نباتات المحاصيل (- ١٥ الى ٥٠ بار) . ولكن تستعمل قيمة واحدة لها وهي = - ١٥ بار . يعد جهد الماء عند نقطة الذبول الدائم ذو اهمية قليلة جداً بسبب ان اكثر من ٧٠ ٪ من الماء الجاهز قد ازيل من التربة عند - ٥ بار (شكل ٢ - ٤) . وان كمية الماء الجاهزة بين - ١٥ و ٣٠ بار تكون قليلة جداً (Verasan and Phillips 1978).



شكل (٢ - ٤) نسبة الرطوبة الجاهزة للنبات في التربة الغرينية عند جهد ماء مختلفة في التربة . في هذه التربة يحتفظ بـ ٥٠ و ٧٥ و ٩٠ ٪ من الماء الجاهز في التربة عند جهد ماء - ٣ و - ٥ و - ١٠ بار على التوالي .

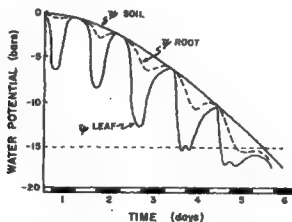
امتصاص الماء وحركته (انتقاله) WATER UPTAKE AND MOVEMENT

يكون عادة الهواء ذو جهد ماء منخفض جداً (شكل ٤ - ٣) مقارنة مع النباتات والتربة . وحيث ان الورقة الحية تكون عادة ذات جهد ماء اكبر من - ١٥ بار فهناك منحدر تدرج طاقة كبير وحركة مستمرة للماء كبخار من الورقة الى الهواء . وعندما لا يفقد الماء من النبات الى الهواء (مثلاً اثناء الليل) فان جهد ماء النبات يكون مقارب الى حالة توازن مع جهد ماء التربة . وعندما تنفتح الثغور يستمر فقد الماء من الورقة مما يؤدي الى خفض جهد ماء الورقة ويصبح اقل من جهد ماء سويق الورقة *petiole* . وحيث ان الماء ينتقل من جهد الماء العالي الى جهد الماء الواطئ لذا فان الماء ينساب من السويق الى الورقة . ويؤدي سريان الماء هذا الى انخفاض جهد ماء سويق الورقة الذي كان في حالة توازن مع جهد ماء الساق لذا فان الماء ينتقل من الساق الى سويق الورقة . ويستمر منحدر تدرج لجهد الطاقة هذا نحو الاسفل الى الجذر والتربة . وبكلمة اخرى يتكون نظام منحدر تدرج لجهد الماء من التربة الى الهواء . وتتأثر معدلات امتصاص الماء وحركته خلال او داخل النبات بكمية ماء التربة . واتصال الجذور بالتربة ومقارنة النبات والتربة الى سريان الماء . ومنحدر تدرج جهد الماء. (Begg and Turner 1976) .



شكل (٤ - ٣) جهد ماء الجو والرطوبة النسبية بدرجة حرارة ٢٥ °م .

يمثل شكل (٤ - ٤) تخطيط توضيحي للتغيرات في جهد ماء التربة - النبات لفترة جفاف مقدارها خمسة ايام . عند اضافة ماء الى التربة والسماح لها بفقد ماء انجذب الارضي فان جهد الماء يكون - ٣ بار . وعندما تنفلق الثغور اثناء الليل ينتقل الماء الى النبات ويصل الى حالة توازن بين جهد ماء النبات وجهد ماء التربة . وخلال النهار تنفتح الثغور ويحصل فقد الماء بالنتح . وعندما يفقد الماء من الورقة ينخفض جهد ماء الورقة مسبباً منحدر تدرج جهد الماء . وهذا يؤدي الى فرق في الطاقة مسبباً انتقال الماء من التربة ليحل محل الماء المفقود بالنتح . وتنغلق الثغور اثناء الليل وينخفض النتح الى مايقارب الصفر . ومع ذلك فان الماء يستمر بالسريان في النظام حتى يصل جهد ماء النبات حالة توازن مع جهد ماء التربة . عندما تمتص النباتات الماء من التربة ينخفض جهد ماء التربة ويصبح جهد ماء الاوراق منخفض نسبياً مسبباً منحدر تدرج جهد الماء لاستمرار الامتصاص . لقد انخفض جهد ماء الاوراق في اليوم الرابع (شكل ٤ - ٤) الى - ١٥ بار وبقي ولم يتغير مشيراً الى ان النتح قد انخفض بسبب انغلاق الثغور الذي يصاحبه عادة ذبول الاوراق . وفي اليوم الخامس انخفض جهد ماء الاوراق والجذور والتربة الى اقل من جهد الماء - ١٥ بار . وهذا يشير الى ان الماء الجاهز او المتيسر للنبات غير كافٍ لمنع الذبول وان استعادة النمو لا تحصل مالم يضاف الماء الى التربة . ويشير انخفاض رطوبة التربة الى نسبة الذبول الدائم في اليوم الخامس (شكل ٤ - ٤) الى ان حجم قليل من التربة ونظام الجذر مع اتصال مباشر وقوي مع حجم التربة



شكل (٤ - ٤) مخطط يمثل جهد ماء التربة والنبات لفترة خمسة ايام جفاف . ينخفض جهد الماء خلال النهار بسبب الفقد بالنتح . وهذا يؤدي الى توليد منحدر تدرج . وخلال المساء ينخفض النتح ويرتفع جهد الماء داخل النبات يمثل الخط الاقوي المتقطع اين يحصل الذبول

الكلى . وفي ظروف اغلب الحقول يكون حجم التربة للنبات كبير مما يسمح بانخفاض بطيء في محتوى ماء التربة . يكون محتوى الماء في الحقل غير منتظم خلال مقد التربة ، وبينما تمتص الجذور الماء من منطقة معينة فانها تتوسع وتنتشر الى مناطق جديدة من التربة التي قد يكون فيها جهد الماء عالي . وفي هذه الحالة غالباً ما يكون النبات قادر على المحافظة على جهد ماء اعلى من جهد ماء التربة ومع ذلك فكلما يقل حجم التربة الرطبة فسوف يحتاج النبات الى منحدر تدرج جهد ماء اكبر للجذور لامتصاص كمية كافية من الماء لسد حاجة الفقد الحاصل بالنتح .

وهي عملية تدريجية في الحقل وقد تستمر لمدة اسابيع في الترب ذات النسجة الوسطية الى المنخفضة ، مما يسمح للنباتات بالتأقلم لجهود الماء المنخفضة وعندما يكون حجم التربة محدود فان التغير في جهد الماء يكون سريع ولا توجد فرصة جيدة للنباتات للتأقلم لجهد الماء المنخفض .

لتبخر النتح *Evapotranspiration*

تسمى كمية الماء الكلية المفقودة من الحقل بالتبخر من التربة وبالنتح من النبات بال *evapotranspiration* (ET) .

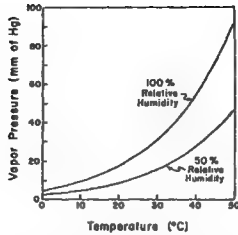
تعتمد عملية تبخر الماء من التربة على الطاقة حيث تشمل على التحويل من حالة سائلة الى حالة بخار . ويعتمد معدل النتح على منحدر تدرج ضغط البخار *vapor pressure gradient* . والمقاومة للسريان وقابلية النبات والتربة على

نقل الماء الى منطقة النتح . ويوفر النتح القوة الدافعة الرئيسية لامتصاص ماء النبات ضد سحب الجنب الارضي ومقاومة الاحتكاك *frictional resistances* في مسار الماء خلال النبات (Jarvis 1975) . وينظم معدل امتصاص الماء بالدرجة الرئيسية بمعدل النتح . اما ضغط الجذور *root pressure* ، وامتصاص الماء الحيوي او النشاط فملعب دوراً ثانوياً في الامتصاص ويكون تأثيرها واضحاً فقط عندما يكون النتح منخفض جداً او معلوم (Kramer 1959) .

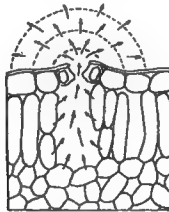
العوامل البيئية المؤثرة على التبخر النتح

يتحدد فقد الماء من النبات الى الجو بعوامل بيئية ونباتية
ويسمى تأثير العوامل البيئية على التبخر - النتح بالطلب الجوي
atmospheric demand او الطلب التبخري *evaporatory demand* .
وكلما كان الطلب الجوي عالى كلما كان تبخر الماء اسرع من سطح ماء حر .
وتؤثر العوامل البيئية التالية على الطلب الجوي :

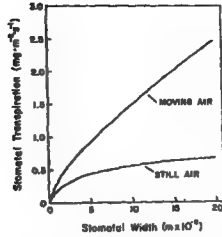
- ١- الاشعاع الشمسي *Solar radiation* . يستعمل من الاشعاع الشمسي الممتص بالورقة ١ - ٥ % في التمثيل الضوئي و ٧٥ - ٨٥ % لرفع درجة حرارة الورقة والنتح . ويؤدي زيادة الاشعاع الشمسي الى زيادة الطلب الجوي .
 - ٢- درجة الحرارة . تؤدي زيادة درجة الحرارة الى زيادة قدرة الهواء على مسك الماء (شكل ٤ - ٥) والذي يعني زيادة الطلب الجوي
 - ٣- الرطوبة النسبية *relative humidity* . يؤدي زيادة محتوى الماء في الهواء الى زيادة جهد ماء الهواء وهذا يعني ان زيادة الرطوبة النسبية تؤدي الى خفض الطلب الجوي (شكل ٤ - ٣ ، ٤ - ٥) .
 - ٤- الرياح . يحدث النتح عندما ينتشر الماء خلال الثغور وعندما يكون الهواء ساكن يتكون حاجز منحدر تدرج الانتشار *diffusion gradient* *barrier* حول الثغور (شكل ٤ - ٦) . وهذا يعني ان انتشار الماء من داخل الورقة الرطبة متساوي تقريباً مع الماء المتجمع خارج الورقة والذي يؤدي الى خفض منحدر تدرج الانتشار ولذا يقل النتح . وعندما تزيل الرياح الرطوبة القريبة من الورقة يزداد الفرق في جهد الماء داخل الثغور المفتوحة وخارجها مباشرة ويزداد صافي انتشار الماء من الورقة (شكل ٤ - ٧) .
- يقيس مختصي الانواء الجوية *Climatologists* الطلب الجوي بتحديد كمية الماء المتبخر من اناء مفتوح *open pan* . ويحصل اعلى طلب جوي في الوقت من السنة الذي يكون فيه الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة اقصى مايمكن (شكل ٤ - ٨) .



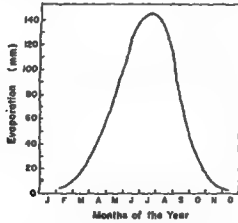
شكل (١ - ٥) تكوير درجة الحرارة على قدرة الهواء على حمل الماء . إذا كان الهواء عند ٥٠٪ رطوبة نسبية بدرجة حرارة ٤٣ ٪ . وخفضت درجة الحرارة أقل من ٣٠ ٪ (نقطة الندى) . فهو لا يستطيع حمل ماء أكثر من ذلك وهنا يحصل تكثف للماء .



شكل (١ - ٦) انتشار الماء خلال الفتحات الثغرية بدون حركة الهواء (عدم وجود رياح) خارج سطح الورقة يؤدي إلى تكوين منحدر تدرج الانتشار مما يؤدي إلى تقليل النتج .



شكل (٤ - ٧) الرياح (حركة الهواء) وتأثيرها على النتح عند فتحات تركيبيّة مختلفة عندما تكون الفتحات الثغرية ضيقة فإن الفرق بين الهواء الساكن والمتحرك أقل بكثير من عندما تكون الفتحات الثغرية واسعة (Bange 1953)



شكل (٤ - أ) التبخر من الأناض المفتوح خلال أشهر السنة في المنطقة المعتدلة .

عوامل النبات المؤثرة على التبخر النتح

ان العوامل النباتية كالطلب الجوي تحوّر معدل التبخر النتح وذلك بتأثيرها على مقاومة حركة الماء من التربة الى الهواء .

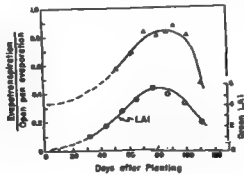
١- غلق الثغور *Stomatal closure* . يحدث اغلب النتج من خلال الثغور بسبب عدم النفاذية النسبية للكيوتكل *cuticle* . ويحصل فتح قليل عندما تكون الثغور مغلقة . وكلما تكون فتحة الثغور واسعة يزداد الماء المفقود (شكل ٤ - ٧) . الا ان زيادة فقد الماء تكون اقل لكل زيادة في وحدة عرض الثغور . وتؤثر عوامل كثيرة على غلق وفتح الثغور . والعوامل الرئيسية تحت الظروف الحقلية هي مستويات الضوء والرطوبة . ويسبب الضوء في اغلب المحاصيل فتح الثغور .

ويؤدي مستوى الرطوبة المنخفض في الورقة (جهد ماء الورقة قليل) الى فقد الامتلاء في الخلايا الحارسة مسبباً غلق الثغور .

٢- عدم وحجم الثغور . تحوي اوراق اغلب المحاصيل الانتاجية على عدد كبير من الثغور في كلا جانبي الورقة (انظر جدول ١ - ١) . ان لعدد وحجم الثغور التي تتأثر بالتركيب الوراثي والبيئة تأثير اقل على النتج الكلي من تأثير غلق وفتح الثغور .

٣- كمية الاوراق . كلما زادت مساحة الاوراق كلما كان التبخر - النتج اكثر . ويوضح شكل (٤ - ٩) بانسه كلما زاد دليل مساحة الاوراق في الحقل زادت كمية التبخر - النتج مقارنة مع تبخر الاناء المفتوح .

ومع ذلك فان الزيادة في فقد الماء تكون قليلة لكل زيادة في وحدة دليل مساحة الاوراق . وهناك دلائل تشير الى ان التبخر النتج لايزداد بزيادة دليل المساحة الورقية اكثر من تلك المطلوبة لاعتراض ٨٠ ٪ من الاشعاع الشمسي (Stern 1965).

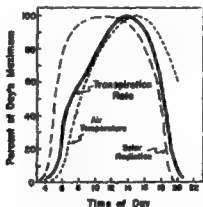


شكل (٤ - ٩) كمية المساحة الورقية وتأثيرها على فقد الماء من كاه قول الصويا . عند تقسيم التبخر - النتج على التبخر النتج بالاناء المفتوح يزال تأثير الطلب او الاحتياج الجوي . وبذلك يمكن ملاحظة تأثير المساحة الورقية (Shaw and Laing 1966)

٤ - التفاف او انطواء الورقة *Leaf rolling or folding* . تملك الكثير من اوراق النباتات آلية (ميكانيكية) لتقليل التتح عندما يصبح الماء محدود . تقلل بعض انواع العائللة النجيلية كالنزة الصفراء تعرض المساحة الورقية بالتفاف الاوراق . بينما تقلل انواع اخرى مثل الحشيش الازرق *bluegrass* تعرض المساحة الورقية بانطواء اوراقها . وتملك الاوراق العريضة اليات اخرى لتقليل فقد الماء . على سبيل المثال ، لفول الصويا القابلة على التفاف اوراقها ، وبنا فان الشعيرات الفضية الموجودة على السطح السفلي المعرض سوف يعكس كمية اكثر من الضوء .

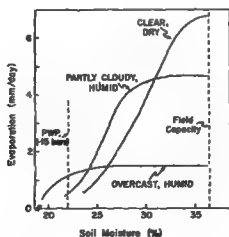
٥ - عمق الجذور وانتشارها *Root depth and proliferation* تعتمد ميسورية رطوبة التربة واستخلاصها بالدرجة الرئيسية على عمق وانتشار الجذور . ويزيد تعمق الجذور من ميسورية الماء وانتشار الجذور (الجذور بوحدة حجم التربة) يزيد من استخلاص وامتنصاص الماء من وحدة حجم التربة قبل حصول الذبول الدائم .

يساعد معرفة كيفية تأثير العوامل البيئية والنباتية على التبخر التتح على توضيح النمط اليومي للتبخر والتتح في الحقل . تفتتح الثغور استجابة الى الضوء ويزداد التبخر التتح بزيادة الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة . عندما لا يصبح الطلب الجوي اكثر من قدرة النبات على تجميع الماء الى الاوراق فان اعلى معدل تبخر تتح يحدث خلال فترة بعد الظهر عندما تكون درجة الحرارة اقصى مايمكن شكل (٤ - ١٠) . ويبدأ التبخر التتح اليومي بالانخفاض في نهاية النهار (قبل غروب الشمس) وذلك اساساً بسبب قلة طاقة الضوء وانخفاض درجة الحرارة .



شكل (٤ - ١٠) العلاقة بين الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والتبخر - التتح *Briggs and Shantz* (1916)

وعندما يكون محتوى ماء التربة عالي يزداد التبخر النتج بزيادة الطلب الجوي. اما عندما يكون محتوى ماء التربة محدود فانه يسبب تغير في العلاقات بين الطلب الجوي ورطوبة التربة وغلغ الثغور ومعدل سريان الماء خلال النبات (شكل ٤ - ١١) . وعندما ينخفض مستوى الماء (الرطوبة) في التربة فان مستوى التبخر النتج ليوم ذو طلب جوي عالي (يوم صافى وجاف) ينخفض الى مستوى مشابه الى مستوى التبخر النتج ليوم ذو طلب جوي قليل (يوم غائم جزئياً ورطب) . وربما يكون سبب ذلك هو غلغ الثغور او زيادة المقاومة للانتقال خلال فترة بعد الظهر ذات ايام الطلب الجوي العالي وليس المنخفض . وبعبارة اخرى ، عندما تكون الرطوبة في التربة محدودة في يوم طلب جوي عالي فان الاوراق تفقد ماء بسرعة اكثر مما يمكن للجنور او نظام النقل تجهيزه للاوراق . يؤدي هذا الى خفض جهد ماء الورقة لدرجة كافية ان تسبب غلغ الثغور ولا يؤدي الى امتصاص وانتقال بطيء للماء بسبب زيادة المقاومة في التربة والنبات . وفي يوم يكون فيه الطلب الجوي منخفض يمكن ان يسد الماء الممتص بالجنور فقد الماء بالاوراق . لذا فان فقد الماء يستمر بدون اعاقه حتى يصل جهد ماء التربة الى مستوى منخفض . وهذا يوضح التداخل بين الطلب الجوي وعوامل التربة وعوامل النبات التي تؤثر على معدل التبخر النتج في الحقل .

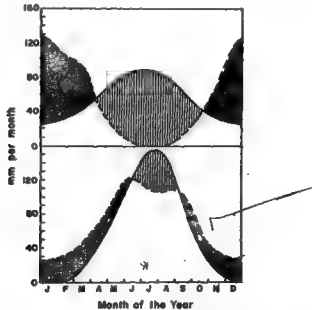


شكل (٤ - ١١) التبخر النتج للمحصول وعلاقته بالاحتياجات الجوية وجاذبية الماء في التربة (Denmead and Shaw 1982)

POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION قدرة التبخر النتح

قدرة التبخر النتح عبارة عن مجموع التبخر والنتح من سطح تربة مغطاة كلياً بنباتات خضراء مع كمية وفيرة من الماء . ويمكن تقدير قدرة التبخر النتح من تبخر الاناء المفتوح *open-pan evaporation* (شكل ٤ - ٨) . وإن اغلب المحاصيل لا تبقى عند قدرة التبخر النتح خلال دورة حياتها بسبب أن هناك اوقات لا يملك فيها المحصول كساء خضري كامل أو أن التربة غير قادرة على تجهيز الماء ليحل بدل الماء المفقود بالنتح . أن المحاصيل الحولية تبدأ نموها بمساحة ورقية قليلة جداً وتزداد خلال موسم النمو . وحيث أن نباتات المحاصيل تنمو بسرعة في ظروف درجات الحرارة العالية والأشعاع الشمسي العالي ، وبما أن الطلب الجوي يكون أعلى ما يمكن تحت هذه الظروف فإن المساحة الورقية العالية تحصل خلال ذروة قدرة التبخر النتح . وهنا عادة بسبب قمة الطلب على الماء الذي يحدث في منتصف الصيف (شكل ٤ - ٨) .

وعند مقارنة قدرة التبخر النتح مع الامطار ، يتضح لماذا يحدث أحياناً نقص الماء خلال فترة معدل النمو السريع (شكل ٤ - ١٧) . ولأجل انتاج حاصل عالي يجب تجهيز المحصول بالماء خلال هذه الفترة . ويمكن أن يتم هذا إما بخزن



شكل (٤ - ١٧) يبين معدل الامطار وجدد التبخر النتح لمتاح منطقة البحر الابيض المتوسط (أعلى) . والنتاج القاري (أسفل) . تمثل الخطوط المتقطعة الامطار أما الخطوط الصلبة فتشمل التبخر النتح . وتشير المساحة الى ان كمية الامطار أقل من التبخر النتح . أما المساحة المظلمة فتشير الى ان كمية الامطار أكثر من التبخر النتح .

كمية كافية من رطوبة التربة لتجهيز المحاصيل خلال فترة نقص الماء أو بواسطة الري . وفي اغلب المناطق الزراعية تعد التربة الأكثر انتاجية هي تلك التي تكون ذات قابلية عالية لغزن الماء والتي تسمح للمحاصيل ان تعطي حاصلًا خلال فترات تكون فيها الامطار اقل من التبخر النتح .

الشدة الرطوبية Moisture Stress

الماء يحدد احياناً نمو المحصول وتطوره . وتعتمد استجابة النبات الى شدة الماء على الفعالية الايضية والشكل الظاهري ومرحلة النمو والقدرة الانتاجية . ان ترتيب الاستجابة لدورة الجفاف كما يلي .

يعد النمو الخلوي اكثر وظائف النبات حساسية لنقص الماء (جدول ٤ - ١) . ان جهد الماء للانسجة المرستيمية اثناء النهار يسبب احياناً انخفاض جهد الامتلاء أو الضغط اقل مما مطلوب للتوسع الخلوي . وهذا بدوره يسبب خفض تمثيل البروتين وتمثيل جدران الخلايا والتوسع الخلوي والذي قد يفسر الملاحظة بان العديد من الانواع يكون اكثر نموها اثناء الليل عندما يكون جهد الماء كبير . ويؤدي تأثير شدة الماء اثناء النمو الخضري الى تكوين اوراق صغيرة (شكل ٤ - ١٣) . والذي قد يقلل دليل المساحة الورقية عند النضج مؤدياً الى اعتراض ضوء شمس بالمحصول يشبط تمثيل الكلوروفيل (اليخضور) عند النقص الشديد للماء .

كما يؤدي الشدة الرطوبية الى تقليل فعالية اغلب الانزيمات (مثل انزيم nitrate reductase بينما تزداد فعالية انزيمات التحلل (مثل انزيم amylase . ويعمل تحلل جزئيات المركبات الاحتياطية على تقليل جهد المناب أو الجهد الازموزي الذي يؤدي الى زيادة في جهد الامتلاء وبذلك يبطئ تأثير نقص الماء .

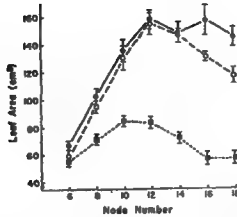
TABLE 4.1. Generalized sensitivity to water stress of plant processes or parameters

Process or Parameter	Water potential (kPa) of tissue (barp)				Comments
	-5	-10	-15	-20	
Process or Parameter					
Cell growth reduction					Fast-growing tissue
Cell wall synthesis reduction					Fast-growing tissue
Protein synthesis reduction					Etiolated leaves
Chlorophyll synthesis reduction					...
Nitrate reductase level reduction					...
ABA synthesis					...
Stomatal closing					Depends on species
CO ₂ assimilation reduction					Depends on species
Respiration reduction					...
Xylem conductance reduction					...
Proline accumulation					...
Sugar concentration					...

Source: From Hsiao et al. 1976.

The dashed line represents the range of (kPa) in which the factor is first affected. The solid line indicates the range in which that factor is almost always affected.

جدول (٤-١) يوضح حساسية عمليات النبات المختلفة إلى نقص الماء.
خطوط متقطعة (dashed) تمثل النطاق الذي يبدأ فيه التأثير.
خطوط صلبة (solid) تمثل النطاق الذي يحدث فيه التأثير دائماً تقريباً.



شكل (٤ - ١٣) مساحة الأوراق النهائية لكل عقدة للفصوليا للمعاملات الرطبة (●) والمتوسطة (○) والجافة (●) . (Elston et al. 1978) .

يؤدي نقص جهود الماء الى تغير تركيز الهرمونات أيضاً . فمثلاً يزداد حامض الابسيسيك (ABA) في الأوراق والثمار . ويدل تراكم حامض الابسيسيك على غلق الثغور والتي ينتج عنها نقص في تمثيل ثاني اوكسيد الكربون . وعندما يكون التراكم عالي يؤدي الى تساقط الأوراق والثمار (Hsiao 1973) . ولا تظهر جميع النباتات زيادة حامض الابسيسيك بالشد الرطوبي . وقد تعيق السايكوكاينينات والاثيلين تأثير حامض الابسيسيك واحياناً يزداد تركيزها عند زيادة تركيز حامض الابسيسيك (Tal and Imber 1971) . وقد يكون هذا هو سبب نفج الثمار السريع تحت ظروف شد الماء .

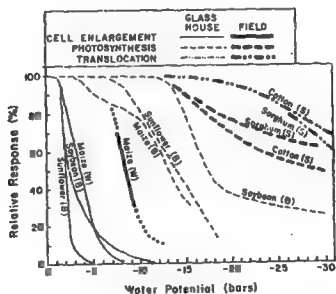
ويزداد تركيز الحامض الاميني البرولين *proline* اكثر من الاحماض الامينية الاخرى تحت ظروف الشد العالية والمتوسطة . ويبدو ان البروتين يساعد على تحمل الجفاف . حيث يعمل كمخزن لتجميع النتروجين و / او كجزيئات مذابة لتقليل الجهد الازموزي للسايكوبلازم (Stewart 1962) . وعند المستويات العالية من الشد الرطوبي (جهد ماء اكثر من - ١٥ يار) يقل التنفس وتمثيل ثاني اوكسيد الكربون وانتقال نواتج التمثيل ونقل الخشب بشكل سريع الى مستويات واطنة بينما تزداد فعالية انزيمات التحليل .

ان النباتات المتعرضة للشد الرطوبي النامية في مستوى ماء تربة عند الذبول الدائم تستعيد عادة نموها عند ريحها لذا كانت فترة الذبول قصيرة .

الا ان اوراقها القديمة قد تسقط ويقل حجم الجديدة وقد تحتاج الورقة الى عدة ايام حتى يصل التمثيل الضوئي الى مستويات قبل ظروف الشد (Begg and Turner 1976).

التعديل الازموزي OSMOTIC ADJUSTMENT

اجريت اغلب الدراسات على تأثير الشد المائي على النباتات على انسجة مزالة او مقطوعة excised من النباتات او على نباتات نامية في سنادين (pots) بحجم محدود من التربة. وهناك دلائل واضحة تشير الى ان النباتات النامية في سنادين تكون استجابتها مختلفة عن تلك النباتات النامية تحت ظروف الحقل. حيث ان النباتات النامية بحجم محدود من التربة تظهر علامات الشد الرطوبي بسرعة اكبر من تلك النامية في ظروف الحقل. وتكون كثافة الجذور كبيرة ومنتشرة خلال حجم التربة ويحصل امتصاص الماء من جميع مقد التربة بشكل منتظم وان دورة الجفاف اسرع نسبياً (شكل ٤ - ٤).



شكل (٤ - ٤) تأثير جهد الماء على استطالة الخلايا والتمثيل الضوئي والانتقال لأنواع عديدة تحت ظروف البيت الزجاجي والحقل.

وتنمو عادة جنور النباتات النامية بحجم تربة كبيرة . وتوجد اعلى كثافة للجنور في الجزء العلوي من مقد التربة حيث يكون امتصاص الماء سريع . وعندما يصبح الماء محدود في الجزء العلوي من مقد التربة . فان الجذور تنتشر الى الجزء السفلي من مقد التربة حيث يكون الماء متوفر بكمية كبيرة . لذا فان الشد خلال دورة جفاف يتكون بصورة تدريجية للنباتات النامية في الحقل . وان احتمال التغلب على جهد الماء اثناء الليل يكون كبير . ويملك النبات الوقت الكافي للتأقلم الى التطور الحاصل بالشد الرطوبي (Begg and Turner 1976) اظهرت النباتات النامية في غرف النمو سرعة في نقص توسع الورقة. ابتداءً عند جهد

ماء الورقة - ٢ الى - ٤ بار وفي التمثيل الضوئي عند - ٦ الى - ٨ بار (شكل ٤ - ١٤) . بينما اظهرت البيانات الحقلية معدل سرعة توسع الورقة عند - ٨ الى - ١٠ بار (McCree and Davis 1974; Watts 1974) . تتحدد حركة النباتات بجهد الماء . الا ان العمليات الفسيولوجية المتأثرة بميسورية الماء يمكن توقعها بشكل افضل بمكونات جهد الماء . ولأجل تقييم شد الماء على العمليات الفسيولوجية يجب معرفة جهد المذاب والضغط الازموزي . والعامل الرئيسي المؤثر على نمو وتوسع الخلية هو جهد الامتلاء والذي يختلف بدرجة كبيرة عند اي جهد ماء بسبب قيمته السالبة المساوية الى القيم الموجبة لجهد المذاب وجهد الحشوة *matrix potential* . على سبيل المثال عند استعمال معادلة (٤ - ١) فان جهد ماء الخلية يكون كالآتي :

$$\psi_w = \psi_s + \psi_m + \psi_p$$

$$(+ ١٢ \text{ بار}) + (- ٢ \text{ بار}) + (- ٧٠٠ \text{ بار}) = (- ٦٠٠ \text{ بار})$$

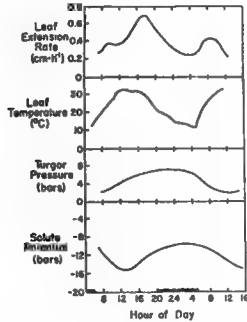
ولكن اذا ازداد مستوى المذاب في الخلية (بسبب تحلل النشاء او حركة البوتاسيوم) فان الماء سوف ينتشر الى الخلية مسبباً زيادة الجهد الازموزي ψ_m حتى في حالة عدم زيادة جهد الماء ψ_s وهذا يسمى بالتعديل الازموزي *osmotic adjustment* .

$$\psi_w = \psi_s + \psi_m + \psi_p$$

$$(+ ٦ \text{ بار}) + (- ٢ \text{ بار}) + (- ١٥ \text{ بار}) = (- ١١ \text{ بار})$$

ان الابحاث التي اجراها Acevedo وآخرون سنة ١٩٧٩ على توسع اوراق والنرة الصفراء والنرة البيضاء توضح التعديل الازموزي : فقد قاسوا جهد الضغط (ضغط

الامتلاء) وجهد المذاب للاوراق المتوسعة (في مرحلة التوسع) خلال فترة ٢٤ ساعة فوجدوا ان توسع الورقة يحصل بسرعة في نهاية النهار بسبب زيادة ضغط الامتلاء بالرغم من ان جهد الماء (- ٦ يار) كان منخفضاً (شكل ٤ - ١٥) . ان الزيادة في جهد الضغط الناتج من إنخفاض جهد المذاب يسبب تراكم السكر في الخلايا التي هي في حالة توسع . لانتراكم السكريات في الاوراق المظلمة لذا فقد انخفض فيها توسع الورقة وحدث توسع قليل للاوراق في الليل بسبب انخفاض درجة الحرارة . وبالرغم من ان توسع الاوراق يحدث عندما يكون جهد الماء منخفض فان ري النباتات يؤدي الى توسع كبير للاوراق خلال فترة الصباح مقارنة مع اوراق النباتات غير المروية .



شكل (٤ - ١٥) يبين حالة معدلات توسع الورقة (الاستطالة) وضغط الانتفاخ ووجود المذاب للفترة الصغراء غير المروية في اليوم ١٢ بعد الزراعة (Acevedo et al. 1979).

ويكون النظام الجذري للنباتات النامية في سنادين صغيرة محدود لنا يحصل بسرعة نقص ماء شديد فيها ويبدو انها غير قادر على القيام بالتعديل الازموزي الموجود في النباتات النامية في الحقل . ومع ذلك لا يمكن الافتراض بان جميع انواع المحاصيل تستطيع عمل تعديل ازموزي تحت الظروف الحقلية . ويجب اجراء دراسات عديدة قبل فهم الفرضية بصورة جيدة .

STOMATAL RESPONSE TO MOISTURE STRESS

الاستجابة الثغرية للشد الرطوبي

ان سبب فتح الثغور يعود الى زيادة ضغط الامتلاء للخلايا الحارسة وعلاقتها بالخلايا المحيطة . وضغط الامتلاء هذا هو استجابة الى التحفيز البيئي وقد يكون احياناً بسبب تدفق البوتاسيوم مما يؤثر على التمديل الازموزي (Humble and Hsiao 1970) ويعد الضوء وتركيز ثاني اوكسيد الكاربون المنخفض وكمية كافية من الماء ومستويات منخفضة من حامض الابسيك ABA عوامل ضرورية لتحفيز تدفق او انتشار البوتاسيوم الى الخلايا الحارسة (Humble and Raschke 1971) لذا فان شد الماء الذي يمكن ان يقلل فتح الثغور ربما يخفف (يعدل) بوجود حامض الابسيك .

تختلف الاستجابة الثغرية بين النباتات النامية في سنادين صغيرة وتلك النامية تحت الظروف الحقلية . ويوضح شكل (٤ - ١٤) الاختلاف في استجابة تأثير جهد الورقة على امتصاص ثاني اوكسيد الكاربون . وكانت الدراسات التي اجريت على النرة الصفراء وعباد الشمس قد تمت على نباتات مزروعة في حجم تربة قليل او محدودة .

ان غلق الثغور هو العامل المسبب الى خفض معدل التمثيل الضوئي بسبب انخفاض النتج (مقاومة الثغور) الى نفس درجة انخفاض ثاني اوكسيد الكاربون . وقد بدأت النباتات النامية في سنادين غلق ثغورها عند جهد ماء ورقة حوالي ٨ بار . الا ان الدراسات التي قام بها Sung و Kneg سنة ١٩٧٩ على النرة البيضاء والقطن أظهرت بان امتصاص ثاني اوكسيد الكاربون يبدأ بالانخفاض عند جهد ماء ورقة - ٣٠ بار . ويبدو بوضوح ان الثغور تحت ظروف الحقل التي تحصل فيها دورة الجفاف لعدة اسابيع بدلاً من عدة ايام غالباً ماتكون قادرة على البقاء مفتوحة بجهد ماء ورقة منخفض جداً .

وفي بعض الانواع تؤثر مرحلة تطور النبات على فتح الثغور في ظروف الحقل . وقد اظهرت الدراسات التي اجريت على النرة الصفراء والنرة البيضاء من قبل (Ackerson و Krieg سنة ١٩٧٧ ان جهد الماء المنخفض في مرحلة النمو الخضري يسبب فتح الثغور تحت ضوء الشمس . هنا ولا يحصل غلق كامل للثغور ابدأ تحت ضوء الشمس بسبب ان اعلى مقاومة للورقة هي حوالي ١٠ ثانية / سم عند جهد ماء - ٢٠ بار . بينما تزداد المقاومة في الظلام الى ٣٠ ثانية / سم . ولم تظهر النرة الصفراء

او الذرة البيضاء تغير في مقاومة الورقة بتغير جهد الماء في مرحلة النمو التكاثري . لذا فان عملية تنظيم الثفر لم تظهر اية حساسية للشد الرطوبي خلال مرحلة النمو التكاثري . وتحت هذه الظروف من الصعب تحديد العوامل التي تقلل فقد الماء من النباتات . وربما تكون النباتات قادرة على عمل مقاومة داخلية تعمل على تقليل او تحديد قابلية النبات على التتح

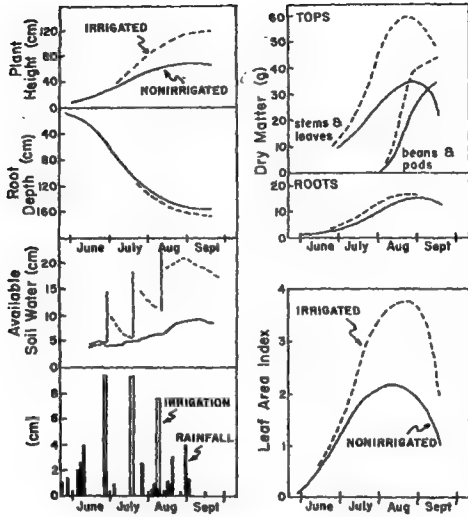
• Ackerson and Krieg 1977).

يختلف سلوك الثغور باختلاف البيئة ومرحلة التطور وموقع الاوراق على النبات وانواع المحاصيل . هنا ويتطلب اجراء دراسات عديدة للفهم الجيد لمعرفة العوامل المؤثرة على استجابة النبات الى مستويات مختلفة من شد الماء .

تأثير شد الماء على الحاصل

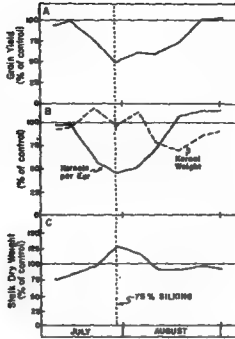
هناك تأثيرات عديدة لشد الماء على الحاصل . ففي مرحلة النمو الخضري يؤثر شد الماء حتى ولو كان قليلاً على معدل توسع الورقة ودليل المساحة الورقية في المراحل المتأخرة من نمو المحصول (شكل ٤ - ١٣) . اما النقص الشديد للماء فيؤدي الى غلق الثغور الذي بدوره يقلل امتصاص ثاني اوكسيد الكربون وانتاج المادة الجافة . كما يؤدي استمرار شد الماء الى نقص كبير بمعدل التمثيل الضوئي الذي قد يحتاج الى عدة ايام بعد اضافة الماء للوصول الى المعدلات الاصلية . وقد وجد بان عدد من معالم او مقاييس النمو في فول الصويا ، على سبيل المثال ، تتأثر بدرجة كبيرة بشد

الماء (Mayaki et al. 1976) (شكل ٤ - ١٦) . ان استطالة الجنور والوزن الجاف لانتائر بقدر تأثير المساحة الورقية واستطالة الساق والوزن الجاف للقسم العلوي للنبات . حيث ان الجنور تنتشر الى مناطق جديدة يكون فيها الماء المتيسر غير نافذ مسبباً نقص قليل في استطالة الخلية . هذا ولايتأثر حاصل البنور بدرجة كبيرة كحاصل النمو الخضري . وقد يعزى سبب ذلك الى جاهزية الماء بكمية كبيرة خلال فترة امتلاء البنور والى اعادة انتقال نواتج التمثيل المخزونة في الاجزاء الخضرية . ويعد نقص المساحة الورقية في مرحلة النمو الخضري المبكر أكثر تأثير بنقص الماء



شكل (٤ - ١١) التغير في الارتفاع والوزن الجاف والمساحة الورقية لغول الصويا المروية وغير المروية . لاحظ بأن تأثير الجفاف على الأجزاء العلوي للنبات أكثر بكثير من تأثيره على الجذور. (Mayaki et al. 1976).

وبالنسبة لحاصل البذور يعد وقت حدوث الشد المائي مهم كاهمية درجة الشد . وبالنسبة لأنواع محدودة النمو مثل الذرة الصفراء يعتبر الشد المائي الشديد لمدة سبعة أيام في بعض مراحل النمو التكاثري حرجة (شكل ٤ - ١٧ A) . إن مرحلة التلقيح (الحريرة) ولمدة أسبوعين بعدها حساسة جداً لنقص الماء . وكان عدد الحبوب بالمرونوس مكون الحاصل الذي تأثر بدرجة كبيرة أكثر من غيره (شكل ٤ - ١٧ B) . وتستطيع النباتات إنتاج نواتج تمثيل أكثر مما تستطيع خزنة في الحبوب وكان هذا واضحاً بزيادة وزن الساق (شكل ٤ - ١٧ C) . لم يؤثر شد

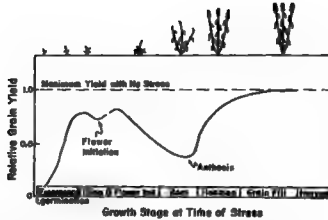


شكل (٤ - ١٧) جهد الجفاف بمراحل مختلفة من نمو الفترة الصفراء وتثيره على (A) حاصل الحبوب (B) مكونات حاصل الحبوب . (C) وزن الساق الجاف Claassen and Shaw 1978

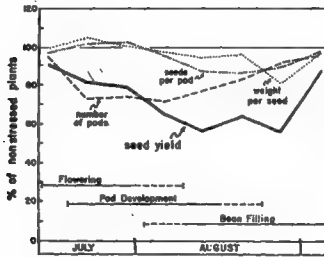
الماء عند حصوله بعد ثلاثة أسابيع من التلقيح على عدد الحبوب قد عبرت وإن نقص الماء يؤثر على التمثيل الضوئي للورقة و / أو النقل . وكذلك يوجد نمط مشابهة للمنحنى وهو نوع آخر محدود النمو (شكل ٤ - ١٨) .

وقد لا يؤثر نقص الماء الشديد لفترة قصيرة نسبياً على حاصل الحبوب إذا حدث أثناء مرحلة النمو الخضري (شكل ٤ - ١٧ A) . أما نقص الماء الأقل شدة لفترات أطول فقد يكون له تأثير أكبر على الحاصل كما هو موضح في فول الصويا (شكل ٤ - ١٦) .

إن الأنواع ذات النمو غير المحدود التي لها القدرة على التزهير لفترة أطول من الوقت قد لا تكون حساسة إلى شدة الماء كالأنواع محدودة النمو (شكل ٤ - ١٩) . إن حدوث شدة ماء شديد لفترة قصيرة خلال المراحل الأولى من التزهير في فول الصويا قد سبب نقص قليل في حاصل البذور . بالرغم من أن شدة الماء سبب



شكل (١٨ - ٤) الانخفاض النسبي في الحاصل بسبب جهد الماء لمرحلة نمو مختلفة للحصول جوبي نظرياً . ان التأثير في الحاصل لا يمتد ، تغير كمي بل انه الى تأثير الجهد في كل مرحلة نمو (Hanson and Nelsen 1980).



شكل (١٩ - ٤) جهد الجفاف بمرحلة نمو مختلفة لقول الصويا وتأثير ذلك على حاصل الببوب ، ومكوناته (Shaw and Laing 1966).

اجهاض (سقوط) الازهار . وذلك لان النبات لدية وقت اكثر لتكوين ازهار اخرى بعد ازالة شد الماء . Shaw and Laing 1966 . ان الازهار المنتجة في نهاية مرحلة التزهير قد لا تكون قرونات ناضجة عند الحصاد . وكان عدد القرونات بالنبات مكون الحاصل الاكثر تأثراً بشد الماء اثناء التزهير . وتعد مرحلة تكوين ومنصف مرحلة امتلاء البذور اكثر المراحل حساسة لشد الماء .

ان حدوث شد الماء في نهاية مرحلة تكوين القنرات يسبب سقوط القنرات وتكون قنرات ضعيفة (عدد قليل من البنور بالقنرة) وتقليل التمثيل الضوئي (تقليل وزن البنور) . ويكون التأثير الكبير في المراحل الاخيرة من امتلاء البنور على وزن البذرة . بالرغم من وجود تأثير على عدد القنرات وعدد البنور بالقنرة الا انه اقل .

يؤدي تأثير الجفاف اثناء التلقيح في المناطق التي تزرع فيها الذرة الصفراء محدودة النمو وفول الصويا غير محدودة النمو عادة الى نقص كبير في حاصل بذور الذرة الصفراء .

كفاءة استهلاك الماء Water Use Efficiency

يعرف كفاءة استهلاك الماء (WUE) في هذه المناقشة كما يلي :

$$\text{كفاءة استهلاك الماء WUE} = \frac{\text{انتاج المادة الجافة (DM)}}{\text{التبخر النتح}}$$

ويعبر عنها غم مادة جافة/كغم ماء او كغم مادة جافة/(هكتار/سم)ماء او باوند مادة جافة / (ايكر / انچ) ماء . لقد اجريت دراسات استهلاك الماء على نباتات في اواني على نباتات مفردة في الحقل وعلى مجتمع نباتي للمحصول . ويمكن استخدامها للحصول للاقتصادي وللمادة الجافة الكلية . ويوجد مضطلع اخر له علاقة بكفاءة استهلاك الماء هو حاجة الماء *water requirement* وهو عكس كفاءة استهلاك الماء .

$$\text{حاجة الماء} = \frac{\text{التبخر النتح}}{\text{انتاج المادة الجافة}}$$

يعبر عادة عن حاجة الماء باوزان متساوية مثل غم ماء / غم مادة جافة . ان كفاءة استهلاك الماء ليست نفس مقاومة الجفاف . حيث تشير كفاءة استهلاك الماء الى الحاصل وعلاقته باستعمال المادة الجافة لانتاج الحاصل . وكان اتجاه اغلب الدراسات التي اجريت على كفاءة استهلاك الماء هو الحصول على كفاءة عالية لاستهلاك الماء وبنفس الوقت المحافظة على انتاجية عالية . في ابحاث مقاومة

الجفاف ينصب التأكيد عادة على المحافظة على بقاء النباتات حية خلال فترات الطلب الجوي العالي وانخفاض ميسورية الماء . وفي حالات عديدة تكون العلاقة بين قابلية النبات على تحمل الشد الرطوبي العالي سالبة مع الانتاجية (Reitz 1974) . ان العديد من الانواع التي تستطيع تحمل نقص الماء الشديد لا تستهلك الماء بكفاءة في غياب الشد (Levitt) . وان بعض الانواع المتأقلمة جيداً لنقص الماء الشديد تكون ذات كفاءة متوسطة في استهلاك الماء حتى في وجود الشد . وتعد النباتات العسارية احدى هذه المجموع . وتمثل هذه النباتات الحامض الشحمي (CAM) حيث انها تغلق ثغورها اثناء النهار وتفتح اثناء الليل خلال فترات نقص الماء الشديد . ويؤدي تركيب الورقة الى فقد اقل كمية من الماء وعند غلق الثغور يقل النتج اكثر من التمثيل الضوئي وهذا ينتج بكفاءة استهلاك ماء اعلى من اغلب الانواع الاخرى (Neales 1970)

لقد ازداد حاصل البنوز بدرجة كبيرة في الاربعين سنة الماضية وقد تم الحصول على هذا الحاصل بدون زيادة كبيرة في التبخر النتج الموسمي . لهذا السبب ازدادت كفاءة استهلاك الماء بجانب الزيادة في الحاصل . ان اي عوامل في ادارة المحاصيل تؤدي الى تقليل معوقات النمو بدون زيادة معنوية في التبخر النتج سوف تزيد من كفاءة استهلاك الماء . ان هذه العوامل مثل اضافة الاسمدة ومقاومة الاذغال وافات المحصول الاخرى وصيانة الماء وتحسين تقنيات الحراثة ومواعيد الزراعة واستعمال اصناف المحصول المحسنة كلها ادت الى زيادة ملحوظة في الحاصل وكفاءة استهلاك الماء .

توجد اختلافات كبيرة في كفاءة استهلاك الماء بين الانواع عندما تقسم الى مجاميع حسب مسار تثبيت ثاني اوكسيد الكربون . ان كفاءة استهلاك الماء لانواع رباعية الكربون عادة اعلى من انواع ثلاثية الكربون (Downes 1969; Bjorkman 1971; Brown and Simmons 1979).

وقد اوضحت البيانات الحقلية الاولى حول كفاءة استهلاك الماء عند تقسيم النباتات الى مجاميع ثلاثية ورباعية الكربون زيادة كفاءة استهلاك الماء بمقدار الضعف في انواع رباعية الكربون سواء تم حسابها من نباتات الحشائش او ذات الفلقتين (جدول ٤ - ٢) . ويزداد الفرق بين انواع ثلاثية ورباعية الكربون بزيادة درجة الحرارة من ٢٠ الى ٣٠ م° (Bjorkman 1971) .

جدول (٤ - ٢) كفاءة استهلاك الماء (غم مادة جافة / كغم ماء) لأنواع ثلاثية ورباعية الكربون

النوع	الحشائش	ذات الفلقتين
ثلاثية الكربون	١,٤٩ غم / كغم	١,٥٩
رباعية الكربون	٣,١٤	٣,٤٤

ملاحظة / تمت التليبات من قبل Shantz and Piemeisel (1927) ووضعا Downes (1969) في مجلدات أنواع ثلاثية ورباعية الكربون .

تشمل العوامل المساهمة في كفاءة استهلاك الماء العالية في أنواع رباعية الكربون على معدلات التمثيل الضوئي العالية والنمو تحت شدة إضاءة ودرجة حرارة عالية (Bjorkman 1971; Downton 1971) . ومقاومة الثغور العالية (Begg and Turner 1976)

لذا فإن كفاءة استهلاك الماء العالية في أنواع رباعية الكربون هو نتيجة لمعدلات التمثيل الضوئي العالية تحت شدة إضاءة ودرجة حرارة عالية وإن معدلات النتج المنخفضة تكون في ظروف إضاءة منخفضة (Downton 1971) . لذا بالإمكان زيادة كفاءة استهلاك الماء وذلك بزراعة محاصيل رباعية الكربون في مناطق أو فصول تكون فيها الطاقة الشمسية عالية وزراعة محاصيل ثلاثية الكربون في المناطق أو المواسم الرطبة فقط (Begg and Turner 1976)

إن قيم كفاءة استهلاك الماء لأنواع ثلاثية ورباعية الكربون منخفضة مقارنة مع نباتات CAM . فقد أظهر أحد أنواع نباتات CAM وهو الأناناس (*Ananas comosus*) كفاءة استهلاك ماء مقدارها ٢٠ غم مادة جافة / كغم ماء (Joshi et al. 1965) . وإن استعمال أنواع محاصيل ذات مسار CAM لتثبيت الكربون محدود بسبب تثبيت ثاني أكسيد الكربون وانخفاض الانتاجية الكلية لهذه النبات (Osmond 1978)

وفي اغلب المحاصيل يتأثر التبخر النتح الحقلّي أكثر بالطلب الجوي وكمية الغطاء الأرضي وميسورية الماء من نوع المحصول المعين .
ويوضح جدول (٤ - ٢) اختلاف المحاصيل المروية جيداً في معدل التبخر النتح اليومي وهو يتراوح من ٤.٢ الى ٥.٧ ملم / ديسمبر (Jensen 1973) والعوامل الرئيسية المؤثرة على التبخر النتح للأنواع المختلفة مع بقاء ميسورية الماء عالية هي الوقت من السنة (الطلب الجوي) ومعدل تكوين وتطور الكساء الخضري . يحسب معامل المقنن المائي $consumptive\ use\ coefficient$ (k) كما يلي ،

$$\text{معامل المقنن المائي (k)} = \frac{\text{التبخر النتح الفعلي او الحقيقي}}{\text{فترة التبخر النتح}}$$

وهو يتراوح من ٠.٦٥ الى ٠.٨٧ ويتأثر بالدرجة الرئيسية بكمية الغطاء الأرضي للكساء الخضري للمحصول المتكون خلال فترة النمو الحنطة ذات معامل مقنن مائي k قليل بسبب انها تنمو في موسم الربيع البارد نسبياً وتتكون المساحة الورقية ببطء من النمو . اما البت وهو ذو معامل مقنن مائي عالي بسبب تكوين مساحة ورقية بسرعة في الربيع من الكاربوهيدرات الاحتياطية . وبالرغم من حصاه اثناء السنة الا انه يستعيد المساحة الورقية بسرعة من الكاربوهيدرات المخزونة في الجذر والتاج ويحافظ على غطاء ارضي اطول خلال موسم النمو .
اما الذرة البيضاء وفول الصويا فهي ذات قيمة وسطية لمعامل المقنن المائي بسبب ان هذه المحاصيل تنمو في الربيع الدافئ والصيف الا انها يكونان مساحة ورقية ببطء من البنور .

وتوضح قيم كفاءة استهلاك الماء في جدول (٤ - ٣) بان نباتات رباعية الكربون ذات محاسن الا انها ليست كبيرة كما هو موضح في جدول (٤ - ٢) ويشير هذا الى ان تبخر الماء من التربة والطلب الجوي خلال موسم النمو يقلل محاسن نوع على اخر في كفاءة استهلاك الماء .

وقد ادى تحسين ادارة المحاصيل وتربية النبات الى زيادة مهمة في استهلاك الماء . ان اغلب هذه الزيادة في استهلاك الماء قد اتت من الزيادة في انتاج المساحة الورقية (التي تؤدي الى زيادة النتج وتقليل التبخر من التربة وزيادة اعتراض الضوء لزيادة التمثيل الضوئي) وميسورية ماء أكثر بسبب تعمق الجنور و / او امتصاص افضل للماء وزيادة دليل الحصاد (الحاصل الاقتصادي) .

جدول (٤ - ٢) استهلاك الماء والتأجج المادة الصلبة لسبعة أنواع من الحاصلات في ظروف ري جيدة

المحصول	ملاحظات تأريخ التركيب الكاربن	فترة النمو أيام	معدل الوقت اليومي	التبخر الناتج الكلي (ملم)	الماء الممتص اليومي (كغم / هكتار)	ملاحظات الماء (ملم / مليم)	كمية استهلاك الماء (ملم مادة جافة / كغم ماء)
الذرة الصفراء	C ₁	٣٥	٠.٢٥	٢٥.٨	١٢.٩	٧٢٥٠	٢.٥٨
الذرة البيضاء	C ₂	٣٠	٠.٧٨	٥.٨٣	٥.٣	١٢٣	٩.٨٩
البطاطا	C ₃	٢٨	٠.٦٥	٥.٣٣	٤.٢	٧٨	١.٨٨
التبخر الكروي	C ₄	١٩٠	٠.٧٢	٨.٧٩	٤.٦	١٤٠٠	١.٦٥
الحمصة	C ₅	١١٢	٠.٦٩	٤.٧٣	٤.٣	٧٢٠٠	١.٦٣
فول الصويا	C ₆	١١٢	٠.٧٨	٥.٩٩	٥.٣	٨٥٠٠	١.٤٢
الجب	C ₇	١٤٥	٠.٨٧	١١.١٢	٥.٧	١٢٠٠	١.١

المصدر: Jensen 1973

ملاحظة: الظروف البيئية هي ظروف وادsworth في ولاية أيداهو.

١ - معدل للفن المائي - التبخر الناتج المائي / التبخر الناتج الكلي (يتبدل أساسا على معدل تكوين الحصاد المائي وملاحظه بطول موسم النمو)

٢ - معدلات الماء - التبخر الناتج الكلي / الماء الجافة

٣ - كمادة استهلاك الماء - الماء الجافة / التبخر الناتج الكلي

الخلاصة يكون الماء حوالي ٧٠ - ٨٠ ٪ من المحاصيل العشبية في مرحلة النمو الفعال . وهو ضروري لأغلب وظائف النبات . وتمتص الجنور الماء من التربة الرطبة وينقل الى قمم النبات حيث يفقده النبات بالنتح الى الجو الجاف . لذا فان النباتات تحتاج الى مصدر مستمر للحاء لاستمرار النمو والتكوين . ويعتمد النظام المستعمل لتوضيح سلوك حركة الماء في التربة والنباتات على جهد الماء (ψ) وهو مجموع لمكونات جهود هي : جهد الحشوة وجهد المذاب (الجهد الأزموزي) وجهد الضغط (الضغط الامتلاء) وجهد الجذب الأرضي .

ويكون تأثير الجهد الأزموزي وضغط الامتلاء أكثر على كيفية استجابة النباتات للشد الرطوبي . ويتطلب وجود ضغط امتلاء لاستطالة الخلايا وبإمكان بعض النباتات المحافظة على ضغط عالي حتى بوجود جهد ماء منخفض نسبياً . وذلك بزيادة الجهد الأزموزي من خلال زيادة مستويات المذاب في الخلايا . وتسمى هذه العملية بالتعديل الأزموزي . وتتأثر قدرة النبات للتعديل الأزموزي كثيراً بظروف النمو البيئة .

ان كمية التبخر النتح من كساء المحصول عبارة عن دالة منحدر تدرج جهد الماء من خلال التربة الى الهواء الخارجي ومقارنة السريان خلال النبات او من اسطح التربة . ويعد الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية والرياح العوامل البيئية الرئيسية المحددة للتبخر النتح . وان غلق الثغور وعدد وحجم الثغور وكمية الورقة وصفات الورقة هي عوامل النبات المؤثرة على مقاومة حركة الماء من التربة الى الهواء . وان قدرة التبخر النتح عبارة عن التبخر النتح من كساء محصول كامل ورطوبة وفيرة (خفض المقاومة الى الحد الأدنى) .

وهو يشير الى التأثير البيئي على الطلب الجوي وكلاهما يتباين يومياً وموسمياً ويتم قياسه باستعمال التبخر من اناء مفتوح .

ويؤدي نقص الماء الى تقليل النمو الخضري والحاصل من خلال تقليل توسع الورقة وتمثيلها الضوئي . مسبباً خفض التمثيل الضوئي في الكساء الخضري . وتتأثر هذه الانخفاضات بدرجة الشد . ويعد وقت حدوث الشد مهم بالنسبة للحاصل كاهمية درجة الشد . ويؤدي شد الماء خلال نشوء الازهار والتلقيح وتكوين البذور الى تقليل عدد البذور المتكونة بدرجة كبيرة وانا خفت وطأة شد الماء خلال مرحلة امتلاء الحبوب فان القدرة على انتاج حاصل البذور تكون اقل من القدرة على انتاج نواتج التمثيل الضوئي

ان كفاءة استهلاك الماء عبارة عن الحاصل المنتج بوحدة الماء المستعمل. وحيث ان حاصل المحاصيل قد ازداد بدرجة كبيرة في السنوات الاربعين الماضية مع زيادة قليلة في التبخر النتج الموسمي . فان كفاءة استهلاك الماء هذه ازدادت بسبب تقليل معوقات نمو المحصول . وتعد كفاءة استهلاك الماء مهمة في المناطق التي يكون فيها الماء عاملاً معوقاً رئيسياً لحاصل نباتات المحاصيل .

References

المصادر

- Acevedo, E., E. Fereres, T. C. Hsiao, and D. W. Henderson. 1979. *Plant Physiol.* 64:476-80.
- Ackerson, R. C., and D. R. Krieg. 1977. *Plant Physiol.* 60:850-53.
- Bange, G. G. J. 1953. *Acta Bot. Neerl.* 2:255-97.
- Begg, J. E., and N. C. Turner. 1976. *Adv. Agron.* 28:161-217.
- Bjorkman, O. 1971. In *Photosynthesis and Photorespiration*, ed. M. D. Hatch et al. New York: Wiley.
- Boyer, J. S. 1968. *Plant Physiol.* 43:1056-62.
- _____. 1970. *Plant Physiol.* 46:233-35.
- Briggs, I. J., and H. L. Shantz. 1916. *J. Agric. Res.* 5:583-651.
- Brown, R. H., and R. E. Simmons. 1979. *Crop Sci.* 19:375-79.
- Claassen, M. M., and R. H. Shaw. 1970. *Agron J.* 62:652-55.
- Denmead, O. T., and R. H. Shaw. 1962. *Agron. J.* 54:385-90.
- Downes, R. W. 1969. *Planta* 88:261-73.
- Downton, W. J. S. 1971. In *Photosynthesis and Photorespiration*, ed. M. D. Hatch et al. New York: Wiley.
- Elston, J. A., J. Karamanos, A. H. Kassam, and R. M. Wadsworth. 1976. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. [B]* 273:581-91.
- Hanson, A. D., and C. E. Nelsen. 1980. In *The Biology of Crop Productivity*, ed. P. S. Carlson. New York: Academic Press.
- Hsiao, T. C. 1973. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:519-70.
- Hsiao, T. C., E. Acevedo, E. Fereres, and D. W. Henderson. 1976. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. [B]* 273:479-500.
- Humble, G. D., and T. C. Hsiao. 1970. *Plant Physiol.* 46:483-87.
- Humble, G. D., and K. Raschke. 1971. *Plant Physiol.* 48:447-53.
- Jarvis, P. G. 1975. In *Heat and Mass Transfer in the Biosphere*, ed. D. A. de Vries and N. H. Afgan. Washington, D.C.: Halsted.
- Jensen, M. E. 1973. *Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements*. New York: American Society of Civil Engineers.
- Joshi, M. C., J. S. Boyer, and P. J. Kramer. 1965. *Bot. Gaz.* 126:174-79.
- Kramer, P. J. 1959. *Adv. Agron.* 11:51-70.
- Levitt, J. 1972. *Responses of Plants to Environmental Stresses*. New York: Academic Press.
- McCree, K. J., and S. D. Davis. 1974. *Crop Sci.* 14:751-55.
- Mayaki, W. C., I. D. Teare, and L. R. Stone. 1976. *Crop Sci.* 16:92-94.
- Neales, T. F. 1970. *Nature [Lond.]* 228:880-82.
- Osmond, C. B. 1978. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:379-414.
- Reitz, L. P. 1974. *Agric. Meteorol.* 14:3-11.
- Shantz, H. L., and L. N. Piemeisel. 1927. *J. Agric. Res. [Washington, D.C.]* 34:1093-1190.
- Shaw, R. H., and D. R. Laing. 1966. In *Plant Environment and Efficient Water Use*, ed. W. H. Pierre et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy.
- Slatyer, R. O. 1967. *Plant-Water Relationships*. London: Academic Press.
- Stern, W. R. 1965. *Aust. J. Agric. Res.* 16:921-27.
- Stewart, C. R. 1982. In *Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*, ed. L. G. Paleg and D. Aspinall. New York: Academic Press.
- Sung, F. J. M., and D. R. Krieg. 1979. *Plant Physiol.* 64:852-56.
- Tal, M., and D. Imber. 1971. *Plant Physiol.* 47:849-50.
- Verasan, V., and R. E. Phillips. 1978. *Agron. J.* 70:613-18.
- Watts, W. R. 1974. *J. Exp. Bot.* 25:1085-96.

ادى التقدم العلمى فى تغذية النبات والتسمد الى احداث ثورة فى انتاج المحاصيل . ان حوالى ٥٠ ٪ من الحاصل العالمى للذرة الصفراء ومحاصيل الحبوب الاخرى يعود الى استخدام الاسمدة التجارية . هذا علاوة الى تحسين النوعية والقيمة الغذائية . ان سبب انخفاض الحاصل فى العديد من الدول يعود اساساً الى قلة العناصر الغذائية .

لقد بدأ علم تغذية النبات قبل حوالى ١٥٠ سنة وذلك منذ العمل التقليدي الذي قام به كل من Liebig و Lawes و Gilbert و de Saussure و Boussingault وآخرون . ومن المحتمل بقاء تلك النظريات التي وضعوها احدى الامل لحل مشكلة الغذاء في العالم .

النباتات، الراقية احياء فريدة في كونها تستطيع تمثيل جميع المركبات التي تحتاجها . وهذه تشمل على الاحماض الامينية والهرمونات والفيتامينات عندما يتوفر لها ١٣ حامضاً امينياً اساسياً مع ثاني اوكسيد الكربون والماء . تعد النباتات ذاتية التغذية *autotrophic* اي انها تستطيع تمثيل جميع مكونات النمو الضرورية من العناصر الاساسية . كما وتعتبر النباتات الخضراء *photolithotrophic* وهذا يعني بأن المكونات الضرورية للنمو تتمثل بوجود الضوء من العناصر غير العضوية او التربة .

العناصر الاساسية Essential Elements

لقد تم تشخيص ستة عشر عنصراً أساسياً لجميع نباتات الحاصل (جدول ٥ - ١). هذا وان الصوديوم (Na) والسيليكون (Si) والكوبلت (Co) ضرورية ايضاً لبعض النباتات (Epstein 1972). وفي سنة ١٩٣٩ اعتبر عنصر الموليبدنم (Mo) عنصر اساسي بعد ايجاد تقنية كفوءة في تقليل تركيزه في المحصول الغذائي الى اقل من ١٠ جزء بالمليون. وهي حالة ظهور علامات النقص (Arnon and Stout 1939). هنا وقد تظهر في المستقبل تقنيات اخرى اكثر دقة يتم فيها اكتشاف عناصر ضرورية اخرى لنمو النبات.

يوجد مقياسان، يستخدمان لتحديد اهمية العنصر للنبات. هذا وان لكل منهما بعض المحاسن والمساوي.

١ - يعتبر العنصر ضرورياً للنبات اذا فشل النبات في نموه ولم يستطيع اكمال دورة حياته في وسط غذائي ينقصه ذلك العنصر. مقارنة مع النمو الطبيعي والتكاثر في وسط يحتوي على ذلك العنصر. هنا ولا يعد التأثير غير المباشر او الثانوي تاهيلاً للعنصر بان يكون عنصراً ضرورياً.

٢ - يعتبر العنصر ضرورياً للنبات اذا وجد بأنه يدخل في تركيب المركبات الضرورية للعمليات الحيوية للنبات. مثل الكبريت (S) الذي يدخل في تكوين الحامض الاميني الميثايونين methionine.

لقد تم تحديد ضرورية العناصر باستخدام تقنيات المحاليل الغذائية hydroponics وذلك بسبب سهولة سحب او ازالة العنصر باستخدام املاح كيميائية نقية وماء مقطر. هنا وان تحديد ضرورية العنصر اسهل بكثير من تحديد عدم ضروريته وذلك لان حساسية الطريقة المستخدمة غير كفوءة للدرجة التي تظهر بان العنصر غير ضروري للنبات.

متطلبات العناصر الاخرى

ان بعض العناصر المعدنية ضرورية فقط لبعض الانواع. وتتطلب الاشكال الاقل تطوراً من الملكة النباتية عنصراً اقل من النباتات الراقية.

جدول (٥ - ١) تركيز العناصر الغذائية في المادة النباتية بمستويات تعتبر ملائمة لنمو النبات .

العنصر	الوزن التري	مايكرومول / غم	الحافة الكلية جزء بالمليون	العدد النسبي للذرات بالنسبة للموليدنيوم
الموليدنيوم	٩٥,٩٥	٠,٠١	٠,١	١
النحاس	٦٣,٥٤	٠,٣٠	١	٣٠
الزنك	٦٥,٣٨	٠,٣٠	٢٠	٢٠٠
المنغنيز	٥٤,٩٤	١,٢	٥٠	٥٠٠
الحديد	٥٥,٨٥	٢,٢	١٠٠	١٠٠٠
البورون	١٠,٨٢	٢,٢	٢٠	٢٠٠
الكالسيوم	٣٥,٤٨	٣,٢	١٠٠	١٠٠٠
(%)				
الكبريت	٣٢,٢٧	٣٠	٠,١	٣٠٠٠٠
الفسفور	٢٠,٩٨	٦٠	٠,٢	٦٠٠٠٠
المغنيسيوم	٣٤,٣٢	٨٠	٠,٢	٨٠٠٠٠
الكالسيوم	٤٠,٠٨	١٢٥	٠,٥	١٢٥٠٠٠
البوتاسيوم	٣٩,١٠	٢٥٠	١,٠	٢٥٠٠٠٠
النيتروجين	١٤,٠١	٦٠٠	١,٥	٦٠٠٠٠٠
الأكسجين	١٦,٠٠	٣٠٠٠٠	٤,٥	٣٠٠٠٠٠٠
الكربون	١٢,٠١	٣٥٠٠٠	٤,٥	٣٥٠٠٠٠٠
الهيدروجين	١,٠١	٦٠٠٠	١	٦٠٠٠٠٠٠

المصدر Bonner and Varnar 1965

ويعد السيليكون عنصر ضروري للرز وذلك استناداً للملاحظات التي تدل على ان نمو الرز يكون غير طبيعي بدونه في الوسط الغذائي (Yoshida et al. 1959; Okuda and Takahashi 1964). كما وجد بان السيليكون ضروري للقصب السكري وذلك بسبب استجابة حاصل القصب السكري لاضافة السيليكون الى الترب المكية (تربة نيثة muck soil). حيث ادت اضافة ١٥ طن / هكتار من مواد السليكا الى زيادة حاصل القصب وحاصل السكر بحوالي ٧٠ ٪ في المحصول الجديد و ١٢٥ ٪ بمحول الراتون (Elawad et al. 1982). هذا ولا يعتبر السيليكون ضرورياً للذرة الصفراء واعداد اخرى من العائلة النجيلية بالرغم من اية تراكم بكميات كبيرة تصل الى ١ - ٤ ٪ من المادة الجافة الكلية (Salisbury and Ross 1978).

ويتطلب نبات الـ *Halogeton* وهو دغل ينمو في الترب للمحية على مساحة تقدر ... ٥ هكتار في الولايات الغربية الصوديوم كمصدر من العناصر الصغرى microelement (Williams 1960). وكذلك الـ *Atriplex vesicera* وهو نبات غلفي يتواجد في استراليا (Brownell 1965). وفي البنجر السكري والقطن يحل الصوديوم بدل اغلب احتياجات البوتاسيوم وذلك بسبب دوره في توازن الايونز (Gauch 1972). هذا ويعد الصوديوم عنصر رئيسي لمتطلبات الحيوانات.

ان بعض انواع النباتات المتأقلمة للترب ذات المحتوى العالي من السيلينيوم (Se) تحتاج اليه كمصدر في تغذيتها اضافة الى تحملها له.

وتحتاج الاحياء المثبتة للنبايتروجين التكاملية والحررة الى عنصر الكوبلت (Gauch 1972) Co. ويبدو واضحاً بان هذه الاشكال النباتية الواطئة تتطلب الكوبلت لتكون فيتامين B₁₂ كما هو الحال في الحيوانات (Salisbury and Ross 1978).

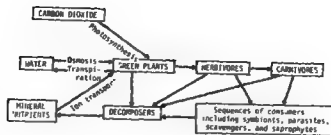
وتختلف متطلبات النباتات الواطئة الى العناصر من حيث الكمية والتنوع عن متطلبات النباتات العليا. على سبيل المثال. يعتبر الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) من العناصر الصغرى بالنسبة للفطريات وعناصر كبرى (رئيسية) بالنسبة للنباتات الراقية. هذا ولا تحتاج الفطريات والبكتريا الى عنصر البورون.

مصادر عناصر النبات

تعد المركبات الطبيعية العضوية وغير العضوية المصادر الرئيسية لعناصر النبات في الزراعة والنظام البيئي *ecosystems* الطبيعي. ويعد اضافة الاسمدة التجارية للخصوبة الطبيعية من تطبيقات الزراعة الحديثة. الا ان قسماً من المجتمع الحديث يرفض هذا المفهوم مدعين بان الاسمدة التجارية تحوي على مواد كيميائية سامة مضرّة للانسان والحيوان والبيئة لذا فان العناصر الغنائية يجب ان تأتي من مركبات طبيعية او عضوية. وان الحقيقة القائلة بان العناصر تدخل الى النبات كايون سواً كان مصدرها عضوي مثل السماد الحيواني او غير عضوي كالاسمدة التجارية قدادت الى اهمال تلك الآراء. ان الفلسفة المتمسبة لاستخدام السماد العضوي للنباتات يهمل حقيقة ان النباتات الراقية ذاتية التغذية *autotrophic* لا تتطلب الى اية مواد عضوية اضافية.

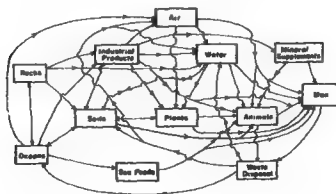
تأتي جميع العناصر الكيميائية الموجودة في النبات من التربة والماء والهجو والتي يطلق عليها جميعاً المحيط الحيوي *biosphere* ان اكثر من ٧٥ ٪ من الشكل الصلب (التربة) يتكون من السيليكون Si والاكسجين (O) والالمنيوم (Al) وهي عناصر غير غذائية للنبات. يشكل النايتروجيني ٧٩ ٪ من الهواء الجوي الذي هو المصدر الرئيسي للكربون (C) كثنائي اوكسيد الكربون بالرغم ان تركيزه حوالي ٣٤ ٪ فقط يحوي ماء محلول التربة على ايونات موجبة *cations* وايونات سالبة *anions* بتركيز تختلف حسب مواصفات نوع التربة. وعموما تكون ذات تراكيز قليلة جداً. الا ان الترب الملحية تحوي على مستوى عالي من الصوديوم والكاريونات والكلور.

ان العناصر في النظام البايولوجي تعاد باستمرار بواسطة الدورات في الطبيعة والا فانها تفقد نهائياً. ان حركة العناصر طريق ذو ممرين، المغذيات تدخل كعنصر او ايونات ثم تعاد الى البيئة كعنصر عن طريقة التحلل او التفسخ بالاحياء المجهرية (شكل ٥ - ١). وقد يترسب الكربون والفسفور كمركبات بحرية لكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم او الفوسفات وبنا تفقد من الدورة. ففي ولاية فلوردا تستخرج المواد الفوسفاتية التي قد ترسبت عبر ملايين السنين. وحديثاً بداء تركيز ثنائي اوكسيد الكربون يزداد بالهجو بمعدل ٢ جزء بالمليون سنوياً وذلك نتيجة لحرق وقود المتحجرات. ان تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الهواء الان حوالي ٣٤٠



شكل (١٠-١) سارالناصر الغذائية في المحيط الحيوي. إعادة الكربون إلى مجمع ثاني أكسيد الكربون المر من التنفس وحرق المواد العضوية .
 ان إطلاق الأوكسجين في عملية التمثيل الضوئي وامتصاصه في التنفس الهوائي غير مشمول في المخطط, Epstein 1972

جزء بالمليون وهذا يعتمد على القرب من مراكز التصنيع مقارنة مع ٢٩٠ جزء بالمليون قبل ابتداء الصناعة الحديثة . وتعتبر فضلات المدن والصناعة غنية بالعناصر في الهواء والماء .. كما تساهم فضلات الانسان والصناعة كثيراً في إعادة دورة العناصر الصغرى شكل (٢٠-٥) . وعادة يمنع استخدام فضلات المجاري على الاراضي الزراعية وذلك بسبب احتوائها العالي من العناصر الثقيلة مثل الرصاص (Pb) والكاديوم (Cd) ،الزنك (Zn) والنيكل (Ni) والمنغنيز (Mn) والتي يمكن ان تتراكم بمستويات سامة في النباتات ولستهلكي منتجات النباتات .

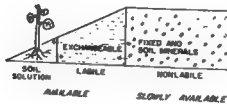


شكل (٢٠-٥) دورة العناصر الثقوية في البيئة [Allaway, 1968]

عناصر التربة

تمبر التربة بصورة عامة انعكاسا لاصل التربة او نوعها . وهي ناتجة من تجوية العناصر غير العضوية (المادة الام *parent material*) والتحلل الحيوي للمادة العضوية .

وقد تختلف التربة عالميا او محليا او حتى في مناطق صغيرة كالالواح التجريبية من الناحية المورفولوجية والفيزيائية والكيميائية والحيوية وحتى في قدرتها على تجهيز العناصر . على سبيل المثال ، تكون التربة ذات المحتوى العالي من طين مونتوريلونيت *montmorillonitic* و / او المادة العضوية ذات سعة تبادل عالية للأيونات الموجبة (CEC) مقداره ٢٥ ملغم / ١٠٠٠ غم. ان هذه الترب تحمل كميات كبيرة من العناصر كأيونات متبادلة والتي تكون جاهزة جزئيا لنمو النبات (شكل ٥ - ٣) . الترب الرملية مثل تلك الترب الموجودة في ولاية فلوريدا ذات CEC ٥ ملغم / ١٠٠ غم او اقل وبذلك تكون ذات قدرة منخفضة لتبادل وتجهيز العناصر الغذائية . تتكون ترب الموليسولز *Mollisols* في مناطق ذات غطاء خضري حشيشي كثيف . كما هو الحال في منطقة حزام النيرة الصفراء في الولايات المتحدة ولذا فهي ذات محتوى عالي من المادة العضوية والـ CEC والكثير من العناصر الغذائية . وعادة تكون هذه الترب ذات محتوى عالي من البوتاسيوم (K) والكالسيوم Ca والمنغنيسيوم Mg (تشع قاعدي عالي) وهي من بين اخصب الترب في العالم .



شكل (٥ - ٣) مخطط يمثل جاهزية عناصر النبات في التربة . التركيز في محلول التربة قليل الا أنه في حالة توازن مع الاجزاء الاخرى لذلك فهو يتجدد باستمرار .

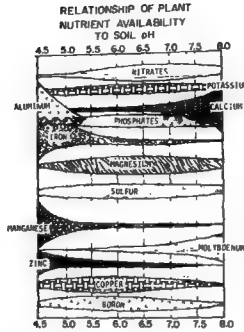
أن قرب الاثريات Laterite التي تشمل على (Oxisols و Ultisols و Alfisols) الموجودة في المناطق الاستوائية في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وجنوب شرقي آسيا تكون حامضية أو مشبعة بالالمنيوم وعادة ذات قدرة عالية اعتيادية على تثبيت الفسفور P بسبب المستويات العالية لايونات الحديد (Fe) الثابتة والمنغنيز (Mn) والالمنيوم وكما يلي :



وقد يكون الالمنيوم الذائب سام للنباتات وهي مشكلة شائعة في هذه الترب (Amon 1974) وعادة تكون الترب الصحراوية قاعدية وذات محتوى عالي من الكالسيوم والمنغنيسيوم والبوتاسيوم . وقد تحوي هذه الترب على كميات سامة من عناصر الصوديوم والكلور والكبريت والكاربونات .

Nutrient Availability جاهزية العناصر

تكون عادة جاهزية العناصر أكثر من الكمية المطلقة وهي تحدد حالة العناصر الجاهزة للنبات . تعد حموضة التربة pH العامل الرئيسي الذي يؤثر على ذوبان العناصر وبالتالي جاهزيتها للنبات (شكل ٥ - ٤) . أن أغلب العناصر تكون جاهزة بين pH (٦ - ٧) (Truog 1961) . ويعد الكالسيوم والمنغنيسيوم والبوتاسيوم والموليبدنيم أكثر جاهزية في الترب القاعدية . أما الزنك والمنغنيز والبورون B فهي أقل جاهزية . وقد تكون عناصر الحديد والمنغنيز والالمنيوم ذائبة إلى حد السمية في الترب ذات الحموضة العالية (جدول ٥ - ٢) . وقد يؤدي التسميد العالي بالنيتروجين وهو شائع في محاصيل الحبوب كالذرة الصفراء والحنطة إلى زيادة الحموضة وسمية الالمنيوم وانخفاض التشبع القاعدي ونقص عناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والمنغنيسيوم . هنا وتعتبر تترجة الاسمدة النيتروجينية السبب الرئيسي لحموضة الترب الزراعية (Pierre et al. 1970) . ويكون عادة نقص الكالسيوم والمنغنيسيوم والبوتاسيوم مرتبط مع استخدام مستويات عالية من الاسمدة النيتروجينية .



شكل (٥ - ١) تأثير حموضة التربة على جاهزية العناصر الغذائية . في الـ pH المنخفض تتواجد كمية سامة من الحديد والمنغنيز والالمنيوم . الا أن النشور يكون غير جاهز بسبب تحول مركبات معقدة باتجاه الفوسفات مع الحديد والالمنيوم . وفي مستويات الـ pH العالي يتفاعل النشور مع الكالسيوم ويصبح غير ذائب .

يعد تثبيت العناصر بالاحياء المجهرية احد العوامل الرئيسية المسببة الى عدم جاهزيتها . حيث ان تثبيت النيتروجين بالاحياء المجهرية نتيجة شائعة لاضافة كميات كبيرة من المخلفات التي يكون فيها نسبة الكربون الى النيتروجين عالية (مثل سيقان الذرة الصفراء او النشارة) . وقد تثبت عناصر اخرى بالاحياء المجهرية بصورة مشابهة مثل تثبيت النحاس في الترب العضوية . هذا ويؤدي تعقيم التربة الى قتل الاحياء المجهرية وبدوره يحرر العناصر الصغرى مثل المنغنيز الى حد السمية .

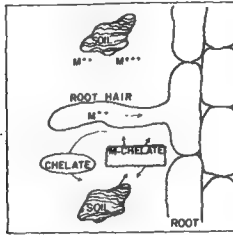
جدول (٥ - ٢) تقسيم النباتات حسب حساسيتها لحموضة التربة pH

حموضة التربة		
٤,٥	٥,٥ - ٦,٥	٦,٥ - ٧,٥
azalea	الشمبر	الاجت
حشيش بنت bent	الفاصوليا	التفاح
blueberry		
cranberry	العنبر	البنجر السكري
dandelion	الفرقة الصفراء	البروكلي
النيككو	النيككو	المهانة
البطاطا	الشوفان	القرنبيط
حشيش بوفرتي	اليزاليا	
red top	الشليم	الكرفس
rhubarb	الشليم	فول الصويا
sorrel		الثفل الحلو
	التيجوني	
البطاطا الحلوة	التنغ	
	الطماطة	
	العنطة	

ملاحظة / التربة الحامضية (من مناطق رطبة) = ٤ - ٦ . تربة معتدلة = ٧ . ترب قلوية (من مناطق جافة) = ٨ - ١٠ .

وقد تكون احيانا العناصر الصغرى غير جاهزة بكميات كافية للنمو الطبيعي للنبات بسبب حموضة التربة غير المناسبة او لاسباب اخرى . ويسبب تحول بعض العناصر كالحديد والمنغنيز الى املاح ذائبة في التربة وان الطريقة الشائعة لاضافة هذه العناصر هي الرش الورقي . وتشمل الطرق الحديثة سواء الى التربة او الرش الورقي على استعمال المواد الكلاية (مركبات عضوية تحوي على عناصر صغرى) . ويعد حامض الـ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) أحد المركبات الكلاية الشائعة الاستعمال للحديد والزنك وعناصر صغرى اخرى . اما في السورب المصلحية فان حامض ethylenediaminedi-o-

(EDDHA) hydroxyphenylacetic مفضلا على EDTA لانه متفوق عليه . على سبيل المثال . يعتبر مركب Zn-EDDHA او FE-(EDDHA) اقل تفاعلا مع كالسيوم التربة . كما وان العناصر الصغرى تمد من المواد الكلاية الموجودة بصورة طبيعية في التربة ومع الجزيئات العضوية في النبات تصبح ذات قابلية ونوبان وجاهزية عالية (شكل ٥ - ٥) . على سبيل المثال يعتبر الكلورفيل مادة كلاية للمغنيسيوم Mg-chelate والهيموكلوبين وسايتركروم C Fe-chelates للحديد مواد كلاية



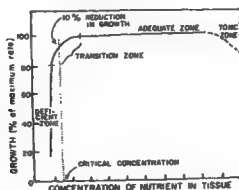
شكل (٥ - ٥) حركة وانتقال الأيونات المعدنية في التربة (M) بواسطة المواد الكلاية
Mengel and Kirkby 1979) chelates

المتطلبات الكمية Quantitative Requirements

هناك اختلافات كبيرة في كمية العناصر الاساسية المختلفة لاجل النمو الطبيعي للنبات . وتعتمد الكميات المطلوبة على المحصول ومستوى الحاصل والعنصر المعين . على سبيل المثال . يتطلب الهيدروجين بمقدار ٦٠ مليون مرة مقارنة مع الموليبدنيم على اساس الوزن (جدول ٥ - ١) . أما على أساس المول mole فيمقدار ٦٠ الف مرة . تتطلب المحاصيل الكربون والهيدروجين والاكسجين بالاطنان للهكتار الواحد بينما تحتاج الى النايتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والمغنيسيوم بعشرات الى مئات الكيلو غرامات بالهكتار الواحد . والعناصر الصغرى

بالغرامات للهكتار الواحد . ونظراً للمتطلبات القليلة فإن التسميد بالعناصر الصغرى غير ضروري عادة لأغلب الاراضى المزروعة بالمحاصيل الا انها شائعة الاستخدام في الترب النيئة *muck soils* وترب *marine* .

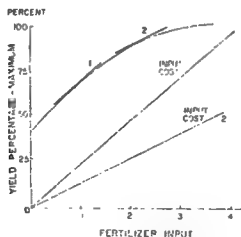
يمكن توضيح حالة العناصر في انسجة النبات والمطابقة لنموه (شكل ٥ - ٦) كما يلي ١ - النقص ٢ - الانتقال ٣ - الاكتفاء ٤ - السمية . يعرف تركيز النسيج الحرج *critical tissue concentration* بأنه ذلك التركيز الذي يكون مباشرة اقل من المستوى الذي يعطى نمو مثالى . أما تركيز مستوى الانسجة الادنى فهو ذلك التركيز الذي يعطى نمو مقارب للحد الاعلى (Epstein 1972) . وتمتد هذه الظاهرة الاساس لاختيار حالة العناصر في الانسجة كدليل لعمل توصيات السماد . لقد حدد المستوى الحرج للعناصر الاساسية لمحاصيل عديدة الا ان القيم المطلقة يجب اعتبارها كدليل فقط بسبب أن العوامل الوراثية والبيئية وطرق اخذ العينات تغير هذا المستوى . ففي منطقة النقص يؤدي اضافة زيادة من العنصر الى زيادة انتاج المادة الجافة . بينما تؤدي زيادة العنصر في منطقة الاكتفاء الى زيادة محتوى العنصر في انسجة النبات وزيادة قليلة أو معدومة في الحاصل . ويطلق على هذا الجزء من استجابة المنحنى بالاستهلاك الترفى *luxury consumption* . أما في منطقة الانتقال فان زيادة العنصر تؤدي الى زيادة كل من الحاصل وتركيز العنصر في انسجة النبات .



شكل (٥ - ٦) استجابة النمو وعلاقته بتركيز العناصر في انسجة النبات
Epstein 1972,

ينتج من التسميد بعض العناصر مثل البوتاسيوم استهلاك ترفي أكثر من التسميد بعناصر أخرى مثل الفسفور . تختلف الأنواع بامتصاص البوتاسيوم فتفتبر الحشائش وبعض الأنواع الخشبية ذات استهلاك ترفي للبوتاسيوم . بينما البقوليات ليست كذلك . وقد يكون التسميد الى نقطة الاستهلاك الترفي غير اقتصادي من الناحية الانتاجية . ومع ذلك فقد يكون التسميد بمستوى عالي من البوتاسيوم مرغوبا به اذا كان المطلوب التخلص من الاضرار الناجمة من مستويات الصوديوم .

يتبع استجابة الحاصل للاسدة المضافة قانون تناقص العلة . ان اضافة وحدة من السماد تؤدي الى زيادة صغيرة في الحاصل الى ان يصل في النهاية الى حالة مشابهة لمنحنى asymptotic . الفائدة الاقتصادية للتسميد عبارة عن دالة استجابة الحاصل وعلاقتها بكلفة السماد (شكل ٥ - ٧) . في الحالة الثانية من هذا المثال تأتي اكبر العوائد بوحدة المساحة من مضاعفة كمية السماد المضاف عند قياسه بالزيادة في الحاصل وعلاقتها بالكلفة المنخفضة للسماد .

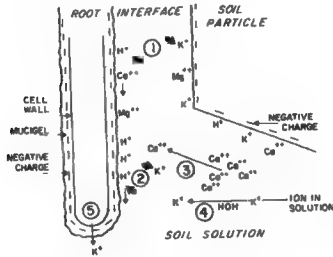


(٥ - ٧) معدل السماد المضاف الاكثر ربما نسبة الى كلفة السماد . أن معدل السماد في الحالة (٢) ضعف المعدل في الحالة (١) . واضلت أمل مرفوعة كما هو مشار في منحنى استجابة الحاصل والدوازي الى خط الكلفة .

امتصاص العناصر Nutrient Uptake

ان القرب الكيميائي او الفيزيائي من الجذور ضروري لامتناس العناصر .
ويحصل الانتقال بين الجذور وايونات العناصر بالطرق التالية ،

- ١ - التبادل بالتلامس .
- ٢ - تبادل ايونات التربة مع ايون الهيدروجين H^+ في mucigel
- ٣ - انتشار الايونات استجابة الى منحدر تدرج كيميائي .
- ٤ - انتقال كتلة الايونات الى الجذور استجابة الى منحدر تدرج الرطوبة أو الماء .
- ٥ - انتشار الجذور في منطقة مصدر الايونات (شكل ٥ - أ) .



شكل (٥ - أ) امتصاص العناصر . ١ - تبادل الايونات بالتلامس بين H^+ على الجذور و K^+ على جزيئات التربة
٢ - التبادل بين H^+ على الجذور و K^+ في محلول التربة . ٣ - انتشار ايون الكالسيوم من منطقة التركيز العالي الى
منطقة التركيز المنخفض . ٤ - انتقال كتلة ايون البوتاسيوم في الماء باتجاه الجذور . ٥ - انتشار الجذور الى المنطقة
الحالية على الايونات .

يؤدي توسع الجذور الى تكوين انسجة امتصاص جديدة وخاصة في منطقة
الشعيرات الجذرية في وسط جديد من التربة مشجعاً بذلك فرصة امتصاص
الايونات . لقد وجد (Aboulroos and Nielsen 1979) بان التسميد بالفسفور
يزيد الحاصل وامتصاص الفسفور ويؤدي الى زيادة كبيرة في طول الجذور وشعيراته
وكثافته . وقد تكون زيادة وامتصاص الفسفور ناتجة من التركيز العالي للفسفور في

الوسط او من زيادة توسع الجذور أو على الاربع من كليهما . على اية حالة يجب ان تعترض الجذور العناصر الغذائية بطريقة أو أكثر من الطرق الالفة الذكر .

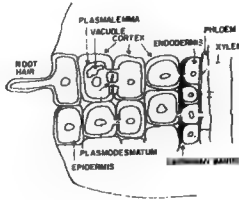
تختلف أهمية الجذور في امتصاص العناصر الغذائية نسبيا (Barber and Olson 1968) وذلك تبعاً للعنصر الممتص . الا ان حركة الكتلة (انتقال مع الماء) تعد الطريقة الرئيسية في امتصاص اغلب العناصر (جدول ٥ - ٣) . ومع ذلك يعتبر الانتشار الكيمياوي الطريقة الرئيسية لامتصاص البوتاسيوم في ترب الـ Mollisol . لهذه الدراسة . يكون امتصاص البوتاسيوم بطريقة حركة الكتلة سائداً في ترب Spodosols, Entisols, والـ Ultisols الخشنة النسجة مقارنة مع Mollisol . ومن الملاحظ ان مساهمة العناصر من توسع الجذور قليل نسبياً لجميع العناصر ما عدا الكالسيوم الذي يعتبر غير قابل للانتقال في النبات . وحيث ان طرق التأهيل والقياس الدقيقة صعبة مع الجذور الصغيرة وخاصة الشعيرات الجذرية . لذا فان المساهمة التي يقوم بها توسع الجذور قد لا تقدر بصورة صحيحة .

جدول (٥ - ٣) الأهمية النسبية لأعراض الجذور وتدفق الكتلة والانتشار في تجهيز الذرة الصفراء بمتطلبات العناصر التي تحتاجها من تربة مزيجية غرينية خضبة نموذجية .

تقدير الكمية المجهزة بواسطة

الانتشار (كغم / هكتار)	تدفق الكتلة (كغم / هكتار)	اعراض الجذور (كغم / هكتار)	الكمية المطلوبة لاتنتاج حاصل ٩٥٠٠ كغم / هكتار	العنصر
صفر	١٨٥	٢	١٨٧	النشوجين
٣٠	٢	١	٢٨	الفوسفور
١٥٠	٢٨	٤	١٩٢	البوتاسيوم
صفر	١٦٥	٦٦	٢٨	الكالسيوم
صفر	١١٠	٦٦	٤٤	المغنسيوم
صفر	٢٦	١	٢٢	الكبريت
صفر	٠,٤	٠,١	٠,١	النحاس
٠,١	٠,١	٠,١	٠,٣	الزنك
صفر	٠,٧	٠,٢	٠,٢	البورون
٠,٧	١,٠	٠,٢	١,٩	المعدن
صفر	٠,٤	٠,١	٠,٣	المنغنيز
صفر	٠,٢	٠,١	٠,١	الموليبدنم

الطرق المذكورة مسبقا تفرض بان حركة الجنور الى العناصر شرط ضروري للامتصاص . هذا وان عملية الامتصاص قد تكون حيوية *active* وتتطلب طاقة تنفسية وحيوهوائية *aerobiosis* أو امتصاص غير حيوي *passive* . وفي الامتصاص الحيوي تنتقل الايونات عبر الاغشية الساييتوبلازمية *plasmalemma* باستخدام الطاقة من اواصر الفوسفات عالية الطاقة (مثل ATP) المتولدة في عملية التنفس (مضخة الايون) (شكل ٥ - ٩) . وبدون وجود مشبطات لامتصاص



شكل (٥ - ٩) مقطع لجذور نبات الفول. تمثل المنطقة اتصال الخيوط البلازمية بين الخلايا الحية (*symploasm*) والنقل النشط (النقل). أما المناطق غير المنقطعة وهي جدران الخلايا والفراغات الداخلية وعناصر الخشب فتشكل الفراغ الحر (*apoploasm*) والتي يحصل فيها الانتقال غير النشط (غير الفعال) .

الايون فان تركيز الصوديوم والبوتاسيوم داخل الخلايا يكون اضعاف التركيز خارج الخلايا (Hoagland 1944) . يكون الانتقال الحيوي بين الخلايا عن طريق الاتصالات الحية للانسجة *plasmodesmata* (Haynes 1980) . لذا فان الانتقال بين الخلايا قد يكون حيوي . وتعد الفجوة *vacuole* المخزن الاحتياطي للماء والايونات داخل الخلية ويعمل على استقرار التوازن بين التجهيز والطلب .

ان اهمية معدل التنفس العالي لامتصاص الحيوي موضح في جدول (٥ - ١) . هذا وبعد حصول بعض الامتصاص الاولي تشييط درجات الحرارة المنخفضة امتصاص العناصر كما هو الحال في الظروف اللاهوائية .

جدول (٥ - ٤) تأثير درجة الحرارة والهواء على امتصاص البوتاسيوم من محلول العناصر .

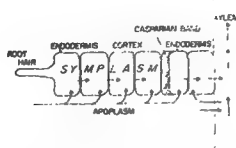
المعاملة	تركيز البوتاسيوم في العنصر الخلاوي (مليمكافى / لتر)
درجة حرارة المحلول (م °)	١٠
صفر	٥٠
٨	٨٥
٣٠	
تهوية لمدة ٢٤ ساعة	
هواء	٩٠
تتروجين	٢٥

المصدر Hongland 1944

أن لاشعة الشمس ومعدلات التمثيل الضوئي أهمية كبيرة في امتصاص الايونات . وكان نمو الجنور بعد تقليل نباتات الطماطة والشعير والحنطة أولى العمليات الايضية التي تأثرت (Crapo and Ketellapper, 1981) . وقد انخفض امتصاص البوتاسيوم كثيراً أو التنفس بدرجة معتدلة . هذا ويبدو أن انتشار الجنور يتأثر أكثر بظروف الحيولاهوائية anaerobiosis من امتصاص العناصر .

الامتصاص غير الحيوي *Passive absorption* عملية فيزيائية مناظرة لامتصاص الماء بواسطة قطعة اسفنج . حيث تنتقل الايونات مع الماء بدون اشراك أية عمليات ايضية . تتكون القدرة الكلية للامتصاص غير الحيوي من مكونين (Epstein 1972) . (١) الفضاء الخارجي *outer space* ويعرف بأنه الفراغات البيئية كما أنها تشمل على أية أنسجة غير حية مثل جدران الخلايا (شكل ٥ - ٩) . (٢) فضاء دونان الحر *Donnan free space* ويعرف بشكل عام بأنه سعة تبادل الايونات CEC لاجزاء الخلية المعرضة لديونات في الماء في الفضاء الخارجي ويستخدم تعبير الفضاء الظاهري الحر *apparent free space* أو الفضاء الحر *free space* ليشمل على الفضائين .

تنتقل العناصر ذات التركيز العالي بسرعة في الفضاء الحر (apoplast) ثم تعبر خلال القشرة الداخلية endodermis وتدخل الى سريان النتج في الخشب (شكل ٥ - ٩). تعتبر القشرة الداخلية حاجز مانع للانتقال السالب في الفضاء الحر بسبب وجود شريط كاسير casparian strip والترسبات الفلينية والسوبرين في القشرة الداخلية مما تؤدي الى منع نفاذية حركة الماء والعناصر بحرية ويبدو بان الانتقال خلال القشرة الداخلية فعال (حيوي) في الانسجة الحية symplasm كما هو موضح في النموذج الذي اعده Haynes (شكل ٥ - ١٠). ومن المحتمل ان تحصل بعض المعوقات بسبب ضرورة اعادة مرور جميع المواد المنتقلة خلال الخيوط البلازمية في القشرة الداخلية في الانسجة الحية الا ان طبيعة هذه العملية لاتزال غير واضحة لحد الان.



كل (٥ - ١٠) نظام انتقال العناصر العيوي وغير العيوي عبر الجذور الفتية. لاحظ شريط كاسير في القشرة الداخلية يظهر بأنه يمنع الحركة المباعدة الى الخشب.

تؤثر سمة تبادل الايون الموجب CEC للجذر على امتصاص العناصر (1980 Haynes). التي تختلف باختلاف الانواع والصف ومرحلة النمو (Ram 1980). يحصل تبادل بين العناصر او الايونات الموجودة على سطوح الجذور الحديثة والعناصر الموجودة على سطوح غرويات التربة (شكل ٥ - ٨). وتسمى هذه العملية تبادل الايونات بالتماس contact exchange.

توجد نظريتان تفسران انتقال الايونات عبر الانسجة البروتينية (Mengel and Kirkby 1979):

- ١- نظرية الحامل carrier-ion تنص هذه النظرية بان جزيئات الاغشية البلازمية تحوي على مواقع ربط متخصصة لبعض الايونات والتي تسبب الانتخائية selectivity . يتكون معقد الايون والحامل *acrossion complex* الذي يسهل حركة الايون عبر الغشاء ليطلق داخل الخلية . وتحتاج هذه العملية الى الـ ATP وانزيم الكاينيز *kinase* .
- ٢- نظرية مضخات الايون *ion pumps* تفرض هذه النظرية على ان الطاقة المتحررة اثناء تحويل الـ ATP الى الـ ADP بواسطة انزيم ATPase تجلب الايونات الى الخلايا استجابة الى التغير الحاصل في التوازن الناتج من انتقال الايونات الاخرى من الخلية . وتعتبر مضخة $Na-K$ مثلاً شائعاً على ذلك . وتدخل بعض الايونات الاخرى الى الخلية بواسطة مدرج الانحدار الكيميائي . وقد لوحظ بان امتصاص الايون ذو ارتباط عالي بفعالية انزيم الـ ATPase (Fisher et al. 1970)

تداخل الايونات :

تتأثر جاهزية اي عنصر بوجود العناصر الاخرى في المحلول (Mengel and Kirkby 1979) . وقد اوضح Viets et al. (1954) بان نسبة البوتاسيوم الى الكالسيوم والبوتاسيوم الى المغنيسيوم في النبات تزداد عند التسميد بالنايتروجين . ان امتصاص البوتاسيوم بنبات الجبت يعيق امتصاص المغنيسيوم الا ان المخزون من العنصر لا يؤثر على الامتصاص (Omar and El Kobbia 1965) .

قد يتشعب امتصاص بعض الايونات بوجود بعض الايونات الاخرى وخاصة الكالسيوم ، وتسمى هذه الظاهرة تأثير فيتز (Viets effect (Viets 1944) ويزداد امتصاص البوتاسيوم والروبيديوم K^+ , Rb^+ والبروم Br^- والكلور Cl^- و SO_4^{2-} و PO_4^{3-} بوجود الكالسيوم . والكالسيوم ضروري لبناء وكمال الاغشية . الا ان التأثير يبدو بانّه اعظم من التأثير على الاغشية فقط .

هنا وان وجود بعض العناصر في المحلول . يكون مضاد لامتناس عناصر اخرى . (Farney and Draycott 1975) . ويصاحب نقص نسبة الكالسيوم والمغنيسيوم زيادة امتصاص البوتاسيوم هنا ويتعارض الفسفور بدرجة كبيرة مع امتصاص الزنك والحديد . وعموماً تتنافس الايونات الموجبة مع

ايونات موجبة اخرى ، على سبيل المثال . وجود الامونيا NH_4^+ يقلل امتصاص الايونات الموجبة الاخرى . وعادة يؤدي امتصاص الايونات الموجبة الى زيادة امتصاص الايونات السالبة (Leggett and Egli 1980).

وظائف واستعمال العناصر الغذائية :

يمكن وضع العناصر الضرورية لنمو المحصول في اربعة مجاميع وذلك حسب دورها الرئيسي في تغذية النبات ١- التركيب الاساسي . ٢- خزن الطاقة ونقل الطاقة المقيدة . ٣- توازن الشحنة . ٤- تنشيط الانزيمات ونقل الالكترونات .

ويوضح جدول (٥ - ١٥) ملخص للمعلومات حول دور العناصر المختلفة في تغذية النبات .

التركيب الاساسي : BASIC STRUCTURE

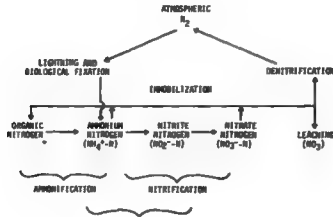
الكاربون والهيدروجين والاكسجين تكون الكربوهيدرات $(CH_2O)_n$ العمود الفقري او التركيب الاساسي للنباتات ومصدر الطاقة للعمليات الايضية . وتشمل الكربوهيدرات على حوامض عضوية عديدة ، وسكريات بسيطة ومعقدة ، وبوليمرات polymers السكريات مثل النشاء والسيليلوز والهيميسيليلوز . وتعتبر الاحماض العضوية الاساس في تكوين الاحماض الامينية التي ترتبط مع بعضها برابطة الببتايد peptide linkage لتكوين البروتينات (انظر شكل ٥ - ١٣) . وعلى اساس الوزن يكون الكاربون والهيدروجين والاكسجين حوالي ٤٥ ، ٦ و ٤٣ % من النبات . لذا فان اكثر من ٩٠ % من الوزن الجاف للنبات او حاصل المحصول يتأتى من الهواء والماء .

خزن الطاقة ونقل الطاقة المقيدة :

ENERGY STORAGE AND TRANSFER ENERGY BONDING

النايتروجين ، يشكل النايتروجين ٧٩ % من الهواء الجوي . ويوجد في التربة نايتروجين اكثر من ذلك كترسبات عضوية . ولسوء الحظ لا يكون النايتروجين الجوي (N_2) ولا نايتروجين التربة الرسوبية الموجودة بشكل مركبات معقدة جاهز لنمو النبات .

ويعتبر النايروجين المؤكسد (NO_2) أو المختزل (NH_4)، الصور الجاهزة للنبات فقط . يمكن ان يتم ربط أو جمع الهيدروجين مع النايروجين المختزل بالبرق أو الاحياء المثبتة للنايتروجين أو تجارياً بطريقة هابر- بوش Haber-Bosch (انظر الفصل السادس) . تتأكد الامونيا الى تترات بيكتيريا النتجة (شكل ٥ - ١١) .



شكل (١١ - ٥) تحويل عنصر النتروجين في التربة

ويعمد هذا التحويل للنايتروجين بايولوجيا لذا فانه حساس لحموضة التربة ودرجة الحرارة والرطوبة .

تعد درجة حرارة 25°C أو اكثر ملائمة لعملية النتجة nitrification . بينما تعد عملية تحويل النايروجين الى امونيا ammonification ، اقل حاسة لدرجة الحرارة (Haynes and Goh 1978) . هذا ولا تحصل اية نتجة في اشهر الشتاء في منطق المناخ المعتدلة وفي الربيع . بينما لا تزال التربة باردة ورطبة . تكون النتجة منخفضة جداً وعادة غير كافية لنمو جيد للنبات . ويكون نمو نباتات الحشائش قصيرة وصغراء ما لم يضاف شكل جاهز من عنصر النايروجين .

تشبط النتجة بدرجة كبيرة في الغابات والمناطق المغطاة بالحشائش بسبب وجود المشطبات الطبيعية مثل مواد الدباغة tannins والفينولات (Rice

(1973 and Pancholy) . ومن جهة اخرى . نجد ان تنظيف الغابات وزراعة اراضيها يشجع عملية النترجة كثيراً بسبب تحليل واختفاء المثبطات ومن المشوق ملاحظة ان نقص النايروجين في حقول الحنطة في ترب مروج ولاية اوكلوهوما لم تظهر كمشكلة حتى حوالي سنة ١٩٥٧ . منذ ذلك الوقت اصبحت تلك الترب تستجيب لاضافة النايروجين الضروري بسبب النقص المستمر في المادة العضوية والنايروجين من الزراعة (Tucker 1951) وقد ادى اضافة السماد النايروجين الى زيادة حموضة التربة ومتطلبات الكلس lime .

يلائم فقدان النايروجين على شكل غازات Denitrification (شكل ٥ - ١١) درجات الحرارة الدافئة وظروف الاختزال مثل الترب الغدقة water logging . اما الترب الدافئة ذات التهوية الجيدة فتشجع عملية النترجة (التازت) وتفقد ١٠-٢٠ ٪ من النايروجين . وتستعمل مواد تجارية ميثطة مثل النايروبيريدين nitropyrin (2-chloro-6-trichloromethylpyridine) لتحمي التترات من الفقد حيث تمتص بجزيئات التربة وبذلك تكون اقل عرضة للفقد . لقد ازداد حاصل بنور الصفراء معنوياً وانخفضت الاصابة بتعفن الساق بسبب استعمال النايروجين مع اضافة الامونيا (NH_3) في الخريف (Warren et al. 1975) . ويمكن ايضاً استعمال ميثطات النترجة لتقليل عملية النترجة في التربة وامتصاص التترات وتراكمها في اوراق الخضراوات مثل السبانخ .

يتراوح محتوى النايروجين في النباتات من ٢ - ٤ ٪ وقد يصل الى ٦ ٪ . وتستطيع النباتات ان تمتص ايونات التترات NO_3^- والامونيا NH_4^+ وتمثيلها كما هو موضح في شكل (٥ - ١٢) . يمتص النايروجين بالدرجة الاساسية بصورة NO_3^- بسبب التحول السريع للامونيا الى التترات في التربة .

الا ان الذرة الصفراء تمتص الامونيا والتترات بنفس السرعة، ويكون منحني الامتصاص خطي بتركيز اعلى من ٢١ ما يكرومول نايروجين وينخفض بانخفاض التركيز عن هذا الحد ويصل الى حالة استقرار عند تركيز ٤ مايكرومول (Edwa (1976 and Barberi . وجد في نباتات فاصوليا لايم lima bean . ان تراكم المادة الجافة يزداد بصورة مستمرة عندما تكون التترات ٧٥ ٪ من النايروجين الجاهز او اكثر (McElhannon and Mills 1978) . وهذا يوضح الاختلافات الوراثية في تفضيل الايونات . وقد وجد تداخل بين النايروجين والبوتاسيوم في الذرة الصفراء . فقد نخفض الحاصل باستعمال نايروجين الامونيا NH_4^+N .

وارتفعت نسبة النايروجين الى البوتاسيوم مقارنة مع نايروجين النترات NO_3N (Dibb and Welch 1976) . وتؤدي المستويات العالية للامونيا في الانسجة الى توقف النمو وتسبب ارتفاع في مستويات الكلور في الطمطة (Williams and Miner 1982) . الا ان النترات ليست ضارة عندما تكون بمستويات عالية . وتعتمد صورة اوشكل النايروجين المستخدمة من قبل النبات جزئياً على الامطار وحموضة التربة pH ففي الترب الحامضية يمتص النايروجين على هيئة نترات NO_3^- بينما ينخفض امتصاص الامونيا (Mengel and Kirkby 1982) . وبسبب العوامل المذكورة انفاً فان النترات هو الايون السائد الامتصاص بنسبات المحاصيل ما عدى الرز .

يعتمد تمثيل النايروجين الى جزيئات عضوية (شكل ٥ - ١٢) على اختزال النترات NO_3^- بانزيم nitrate reductase في انسجة النبات (Neyra and Hageman 1973) . يحتاج اختزال النترات الذي يجب ان يحصل قبل انتاج الاحماض الامينية والمركبات الحاوية على النايروجين الى الالكترونات . ويعتبر مركب nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) or mco- او مركب tinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH) المعطية للالكترونات التي تنتج بعملية التمثيل الضوئي . وقد وجد بان مستويات الاضاءة العالية ومعدلات التمثيل الضوئي العالية تشجع وتزيد من فعالية انزيم ال nitrate reductase (Minatti and Jackson 1970) . وقد يحصل تراكم النترات بمستويات سامة للحيوانات في محاصيل العلف خلال ظروف تواجد الفيوم .



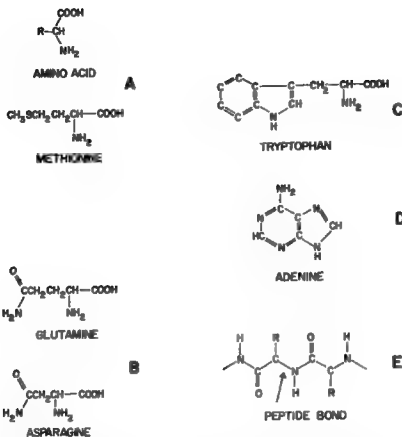
شكل (١٢ - ١٣) تحويل مركبات النروجين في النبات .

ان درجات الحرارة المناسبة ضرورية لاختزال النترات . مع الاخذ بنظر الاعتبار الاختلافات الموجودة بين الانواع . هذا وان حصول اختزال النترات يؤدي الى خسارة في الطاقة الموجودة بالنبات .

يحصل اختزال النترات في الانواع الخشبية في الجذور فقط . بينما في نباتات المحاصيل يتم اختزال النترات في كل من الجذور والاوراق (Haynes and Goh 1978) . ويبدو واضحاً ان بعض - مثل الخضر مثل السبانغ ونباتات من عائلة Chenopo diaceae تفقد قدرتها على اختزال النترات في الجذور لذا تتراكم كمية كبيرة من النترات في الاوراق . لقد وجد ارتباط موجب بين فعالية انزيم nitrate reductase وحاصل الحبوب والبروتين في الذرة الصفاء والحنطة والذرة البيضاء من قبل باحثين عديدين . الا انه في دراسات اخرى لم تكن العلاقة ذات ارتباط عالي مع "اصل ونسبة البروتين العالية في الحنطة (Deckard and Busch 1978) وقد وجد فسي صنفين للحنطة الرييمية بان مستوى انزيم الـ nitrate reductase كان كافياً في مرحلة الشيوخة الا ان النايروجين لم يكن بمستوى كافي للنمو (Hepper 1976) .

يدخل النايروجين في تركيب الاحماض الامينية والاميدات amides وقواعد النايروجين مثل البيورين purine والبروتينات والنوية nucleoproteins (شكل ٥ - ١٣) . تحوي الانزيمات على سلسلة طويلة وجزيئات بروتين معقدة اضافة الى مجموعة غير بروتينية تعيد الفعالية وعادة تكون من العناصر الصغرى .

البروتينات عبارة عن بوليمترات polymers مكونة من ٢٠ حامض اميني مرتبطة مع بعضها برابطة الببتايد peptide linkage في عدد كبير من التوليفات منتجاً وزناً جزيئاً عالياً . الاحماض الامينية ذات نايروجين - اميني على موقع كاربون - الفا ، وقد تحوي على نايروجين في الحلقة كما هو في التربوفين tryptophan (شكل ١٣) . يحوي الكلوتامين Glutamine على نايروجين في مجموعة الامايد . والادينين adenine عبارة عن قاعدة يورين مع وجود نايروجين في الحلقة . وان الادنين جزءاً من العديد من النيوكلووتايدات nucleotides والبروتينات النووية nucleoproteins مثل الـ DNA الـ RNA . ويدخل النايروجين في تركيب مجموعة من المركبات تسمى القلويات alkaloids التي لا يعرف وظيفتها على وجه التحديد والتي من الواضح انها ليست مواد ايسية ضرورية . ويعتقد انها تعمل كمركبات خزن للنايروجين .



شكل (١٠ - ١٣) A - ارتباط مجموعة الامونيوم مع كاربون α . وهذا يمثل تركيب مثالي للعناصر الامينية . B - الكلوتامين والاسبرجين وهما ايمدان يمثلان الشكل الشائع للنيتروجين المختزل المنقل من الجذور الى السيلان . C - العناصر الامينية التريبوفين مع وجود النيتروجين على ذرة الكاربون . D - الاديين وهي قاعدة البيردين شائع التواجد في العديد من النيوكليوتايدات . E - رابطة البيتايد وهي رابطة ذات طاقة واطقة تربط الاحماض الامينية في البروتينات .

يؤدي نقص النايتروجين الى عرقلة التوسع والانقسام الخلوي . وتشمل اعراض النقص عموماً على القصر والاصفرار وخاصة اجزاء النباتات القديمة . ويسبب نقص نمو النبات تراكم السكريات في بعض الانواع وخاصة الزرة الصفراء بسبب تلون قاعدة الساق باللون البنفسجي نتيجة تكوين صبغة الانثوسيانين . anthocyanin

النايتروجين ذي قابلية عالية للانتقال داخل النبات . وتكون الاوراق الحديثة واعضاء النبات المتكونة حديثاً ذات مصب ذي طلب عالي مثل الجذور والثمار لذا فانها تستطيع اخذ كميات كبيرة من النايتروجين من الاوراق القديمة او الاوراق

السفلية . وفي النهاية تؤدي مثل اعادة التوزيع هذه عندما يكون امتصاص النايتروجين محدود الى اصفرار وشيخوخة الاوراق السفلية في النبات .

تصل نباتات فول الصويا غير المكونة للعقد الجنينية مرحلة الشيخوخة بوقت مبكر وتحتوي على ٦٠ ٪ من مجموع النايتروجين في البذور مقارنة مع نباتات المقارنة مع نباتات المقارنة التي تصل فيها الشيخوخة بوقت متأخر وتحتوي على ٤٠ ٪ فقد من النايتروجين الكلي في البذور (Egli et al. 1978) . ان مثل هذا الاصفرار والشيخوخة قد اعزي سابقاً بشكل خاطيء الى نقص الرطوبة بسبب انها تصبح واضحة في منتصف الصيف .

وفي الخلاصة يعتبر النايتروجين مكونة ضروري للاحماض الامينية والاميدات والنيوكليوتايدات والبروتينات النووية وضروري للانقسام والتوسع الخلوي من النمو . وينتقل النايتروجين داخل النبات . حيث ينتقل الى الانسجة الحديثة لذا فان نقصه يظهر أولاً في الاوراق القديمة ويعرقل نقص النايتروجين عمليات النمو مسبباً قصر النبات واصفراره ونقص حاصل المادة الجافة .

الكبريت Sulfur

تعد المادة العضوية والاملاح غير العضوية مثل كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم مصدر الكبريت في التربة . ويحتوي الهواء الجوي على غاز الكبريت كما ويحتوي ماء المطر (المطر الحامضي) على الكبريت . يكون الجو الجغرافي في المناطق البعيدة عن المدن الصناعية او البحر (مثل بعض المناطق في افريقيا والولايات المتحدة واستراليا ونيوزيلاندا) ذو محتوى قليل من الكبريت . لذا فان اعراض نقص الكبريت في المحاصيل يكون شائع الانتشار . ان تعدين Mineralization الكبريت وتكوين ايونات الكبريت (التحويل) من المادة العضوية مشابهة تقريباً لتحويل النايتروجين من المادة العضوية . وقد يتكون الـ H_2S المختزل ويتراكم بتركيز سامة في ظروف لاهوائية . ويتأكسد هذا المركب في الترب ذات التهوية القليلة الى عنصر الكبريت بيكتيريا التمثيل الضوئي والـ chemotrophic . وتؤدي زيادة الأوكسدة الى انتاج حامض الكبريتيك (H_2SO_4) وحموضة التربة .

يمتص النبات الكبريت بصورة رئيسية كأيون SO_4^{2-} وينتقل بطريقتين الانتصاص الحيوي وغير الحيوي . وتمتص الاوراق كميات لا بأس بها من غاز SO_2 .

وكالنايتروجين يجب أولاً اختزال جميع الاشكال المؤكسدة انزيمياً قبل تمثيلها بالنبات .

الكبريت كالنايتروجين يعمل كاساس للطاقة الواطئة المقيدة في تمثيل البروتين . يكون الكبريت روابط الثايول $thiol$ المشابهة من ناحية الطاقة الى روابط الببتايد $peptide$ للنايتروجين . هذا ويعتقد بأن مجاميع (SH) Sulfhydryl مهمة في تحمل البروتوبلازم للبرد والجفاف . كما ويساهم الكبريت في نقل الطاقة بطريقة مشابهة للفسفور .

يدخل الكبريت في تكوين بعض الاحماض الامينية . السيتين $cystine$ والسيتينين $cysteine$ والميثونين . وكذلك يخفز بعض انزيمات البروتوبلاستيك $proteolytic$ ومكون لمرافق انزيم A coenzyme والكلوتاتيون $glutathione$ وبعض الفيتامينات . وقد تحوى النباتات العائدة لعائلة الخردل $Cruciferae$ على اكثر من ١% كبريت . كما ان البقوليات تحوى ايضاً على نسبة عالية من الكبريت . لقد تم الحصول على اعلى حاصل لبريس الجت عندما كانت نسبة الكبريت في الاوراق ١٥ - ٢٠% (Westermann 1975) . ولانتاج اعلى حاصل . فقد كانت نسبة النايترجين الى الكبريت المثالي تتراوح من ١٠ - ١٥ للقصب السكري (Fox 1976) . بينما نسبة النايترجين الى الكبريت في التربة المسمدة جيداً بالكبريت ١٥ - ١٦ للذرة الصفراء . و ٢٠ لقول الصويا و ٨ - ٩ للقطن والبايما (Gaines and Phatak 1982) .

ان زيوت بعض النباتات وخاصة نباتات عائلة الخردل والبصل تكون غنية بالكبريت . لقد وجد بان التسميد بالكبريت يزيد محتوى البذور من الزيت للمحاصيل مثل الكتان وقول الصويا .

ان نقص الكبريت كالنايتروجين يؤدي الى قصر النباتات واصفرارها وتكوين سيقان رفيعة . وبالرغم من أن الكبريت قابل للانتقال داخل النبات الا ان اعادة توزيعه من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة لا يتم كما يحصل مع النايترجين ولا يحصل تحرق للاوراق السفلية . لقد وجد Bouma سنة ١٩٧٦ ان اعادة توزيع

الكبريت حصلت من جنور واعناق وأوراق النفل الأرضي subterranean وليس من الأوراق .

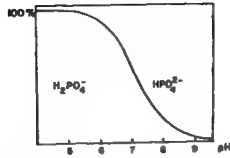
في الخلاصة ، الكبريت جزء من الأحماض الأمينية والكلوتائينين ومرافق انزيم A وبعض الفيتامينات . ان فلسجة الكبريت مشابهة الى فلسجة النايروجين من حيث التمدين والامتصاص والاختزال وتقييد الطاقة والدمج واعراض النقص والقصر والاصفرار . وان إعادة توزيع الكبريت ليست كبيرة كالنايتروجين لذا فانها لاتحدث تحرق للأوراق السفلى كما يحصل عند نقص النايروجين .

الفسفور Phosphorus

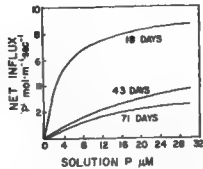
- ان مصدر الفسفور في التربة هي مواد عضوية وغير عضوية وكما يلي ،
- ١- يحتوي محلول التربة على كميات قليلة جداً من الفسفور الذائب مثل orthophosphate (أو $H_2PO_4^-$ أو HPO_4^{2-})
 - ٢- مركبات العناصر الحاوية على الفسفور مثل الابتايت apatites وفوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والالنيوم .
 - ٣- الخزين غير الثابت العاوي على الفسفور المدمص على غرويات التربة كفوسفات الحديد والالنيوم التي تكون في حالة توازن مع فوسفات محلول التربة (شكل ٣-٥) .

ان كمية الفسفور في محلول التربة قليلة جداً بسبب الجزء الخزين غير الثابت . ولهذا السبب يكون الفسفور العنصر الثاني بعد النايروجين اكثر العناصر محدداً لنمو النبات .

يمتص الفسفور بصورة رئيسية كايون احادي $H_2PO_4^-$ monovalent وثنائي HPO_4^{2-} divalent التي يسود تواجدھا في الترب ذات pH معتدل او عالي (شكل ٥-١٤) . تمتص الجنور الفسفور بطريقة الامتصاص الحيوي من تراكيز قليلة جداً من محلول التربة . (Russell and Barber 1960) . يعتمد قدرة امتصاص الفسفور بجنور فول الصويا على العمر (شكل ٥-١٥) . حيث ان امتصاص الجنور التي عمرھا ١٨ يوم يساوي اربعة اضعاف تلك التي عمرھا ٧٣ يوم . (Edwards and Barber 1976) .



شكل (١٤ - ٥) النسبة بين جاعزية $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} وعلاقتها بعمونة pH وسط النمو
Menget and Kirkby 1982 .



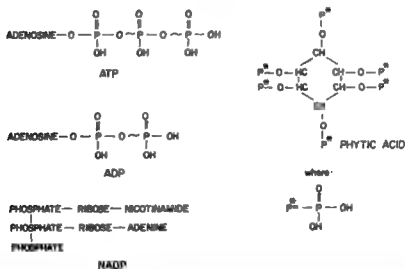
شكل (١٥ - ٥) مقارنة التدفق الصافي في الفسفور بالترليفور فول الصويا بثلاث أصناف مختلفة
Edwards and Barber 1978,

الفسفور من العناصر التي لها القدرة على الانتقال داخل النبات حيث يعاد توزيعه أو انتقاله من الأجزاء القديمة إلى الأجزاء الحديثة . يمكن للأوراق الحديثة والثمار المتطورة حديثاً أن تحصل على احتياجاتها من الفسفور غير الثابت في الأنسجة القديمة للأوراق حتى ولو كانت هناك معوقات لامتصاص الفسفور من التربة . يتراوح مستوى الفسفور الحرج للذرة الصفراء من ٠.١٨ - ٠.٢٥ % في الورقة التي تقع تحت المرنوس . وهذا يعتمد على الموقع الجغرافي . تقع المستويات المثالية بين ٠.٢٥ - ٠.٤١ . (Forde 1976) .

يعد الفسفور أحد المكونات التريبييه للعديد من المركبات الحيوية المهمة مثل تلك التي تقوم بنقل الطاقة ADP و ATP و (adenosine di- and triphosphate), و NADPH و NAD. ومركبات نظام المعلومات الوراثية DNA و RNA (desoxyribo- and ribonucleic acid) .

وتتكون استرات الفوسفات مع السكريات والكحولات والاحماض او فوسفات اخرى (polyphosphates). والواصر الفنية بالطاقة مهمة في العمليات الايضية حيث تساعد في عملية المفسرة الضوئية ونقل الطاقة كما هو موضح في شكل (٥ - ١٦). يعد حامض الفايتيك Phytic acid مركب مهم لخزن الفوسفات شائع الوجود في البذور. وينتقل هذا الشكل المخزون من الفسفور لتجهيز المعدل العالي للعمليات الايضية اثناء انبات البذور.

ويعتبر الفسفور ايضاً احد مكونات الليبيدات المفسرة phospholipids مثل الليسيثين, ecithin, والجولين, choline, التي تلعب دوراً مهماً في تكوين الاغشية. والليسيثين ناتج عرضي مهم في استخلاص زيت فول الصويا وله استخدامات غذائية وتجارية عديدة.



شكل (٥ - ١٦) بعض المركبات الايضية المهمة العالية على الفسفور. جميعها يحوي على رابطة فوسفات ذات طاقة عالية وهي مصدر الطاقة الضروري لتمثيل مكونات النبات. يعد حامض الفايتيك مخزون جاهز للفسفور في البذور.

ان الاعراض المرئية لنقص الفسفور الى حد ما عكس اعراض نقص النيتروجين والكبريت حيث ان الاوراق تكون خضراء داكنة الى زرقاء - خضراء بدلاً من ان تكون صفراء والنباتات تكون قصيرة. وقد وجد بان عدد الجذور وطولها ينخفض في نباتات حشيش الشليم (Lroughton 1977). يتراكم السكر في النباتات التي فيها

نقص الفسفور موضحاً وجود صبغة الانثوسيانين anthocyanin في قاعدة الساق والمروق وخاصة في الذرة الصفراء . وكما هو الحال عند نقص النايتروجين فان الاوراق القديمة تظهر اعراض نقص الفسفور اولاً وذلك بسبب اعادة انتقاله الى الانسجة الحديثة .

في الخلاصة ، يتواجد الفسفور بتركيز منخفض جداً في محلول التربة وهو مكون ضروري لمركبات نقل الطاقة (ATP والبروتينات النووية الاخرى) ، ونظام المعلومات الوراثية (RNA و DNA) واغشية الخلايا (الليبيدات المفسرة) والبروتينات المفسرة . والفسفور قابل للانتقال ويعاد توزيعه من الانسجة القديمة الى الانسجة الحديثة . لذا فان الاوراق القديمة تظهر اعراض نقص قبل غيرها .

توازن الشحنة

Potassium. البوتاسيوم

تعتبر المعادن الاولى والمعادن الثانوية مثل الطين مصدر البوتاسيوم في التربة . وبصورة عامة تكون الترب ذات المحتوى العالي من الطين محتواها عالي نسبياً من البوتاسيوم . بينما تكون الترب العضوية والرملية ذات محتوى منخفض منه . المصدر الرئيسي لبوتاسيوم النبات يأتي من تجوية weathering المركبات الحاوية على البوتاسيوم .. ويتواجد البوتاسيوم بثلاثة اشكال (١) البوتاسيوم المقيد كيميائياً بعناصر التربة الاولى والثانوية . (٢) البوتاسيوم المتبادل . المدص على جزيئات التربة . (٣) البوتاسيوم الموجود في محلول التربة (شكل ٥ - ٣) . يكون اغلب البوتاسيوم في الترب المعدنية (مثل ترب عالية بالمونتموريلونايت montmorillonite) على هيئة معادن الـ lattices . ويكون فقط من ١ - ٣ % من مجموع البوتاسيوم المدص او المتبادل وحتى نسبة اقل في محلول التربة (Wiklander 1954) . ويكون البوتاسيوم المتبادل بحالة توازن مع البوتاسيوم في محلول التربة . يكون امتصاص البوتاسيوم بصورة رئيسية من محلول التربة (Mengel and Kirkby 1979) . الا ان البوتاسيوم يمكن أن يأتي لحدما من أشكال غير متبادلة . إن أغلب الترب ذات تعادل عالي من البوتاسيوم . وتكون الاختلافات من سنة الى اخرى قليلة.

يمتص البوتاسيوم على صيغة ايون موجب احادي الشحنة K^+ . ويكون امتصاص البوتاسيوم حيوي ضد منحدر تدرج الالكترونوني الكيمياوي القوي (Hoagland 1944) . وتؤثر درجة الحرارة على الامتصاص وان الدرجة المثالية لاغلب الانواع حوالي $20^{\circ}C$ الا ان هناك اختلاف بين الانواع (Worley et al. 1963) . على سبيل المثال يمتص الحشيش السوداني البوتاسيوم عند درجة $20^{\circ}C$ - $30^{\circ}C$ بينما تفقد البازلاء البوتاسيوم عند درجة $30^{\circ}C$. وتفقد جنود فول الصويا البوتاسيوم عند درجة حرارة منخفضة (مثلا $5^{\circ}C$ ، $13^{\circ}C$ ، $15^{\circ}C$) . وقد اوضح Hall and Baker (1972) بان البوتاسيوم يكون 80% من الايونات الموجبة الموجودة في اللحاء . ويكون انتقال البوتاسيوم بالدرجة الرئيسية الى الاعلى . كما انه يشجع انتقال النترات (Blievens et al. 1978) . هذا وان اعادة انتقال البوتاسيوم من اعضاء النبات القديمة الى الحديثة يعد القاعدة . حيث ان البوتاسيوم اكثر العناصر انتقالا في النبات .

بينما يعتبر البوتاسيوم ضروري للنباتات الراقية والواظئة فهو ليس جزءاً من اي من مكونات النبات المعروفة . ويخزن البوتاسيوم بكميات كبيرة في الفجوات . وهو لا يكون جزئيات عضوية معقدة بل انه يعمل بصورة رئيسية كمنشط للانزيمات او عامل مرافق لحوالي 46 انزيم (Evans and Sorger 1966) .

ويمكن تفسير استخدامه كعامل مرافق بسبب المتطلبات العالية للبوتاسيوم . وعلاوة على البوتاسيوم فان العناصر الصغرى والمغنيسيوم تعمل كمنشطات لبعض الانزيمات . ان هذا المفهوم مشوق بشكل خاص . اخذين بنظر الاعتبار ان الانزيم والعامل المرافق لا تستخدم بالتفاعلات الكيمياوية بل انها يجب ان تتواجد اثناء التفاعل

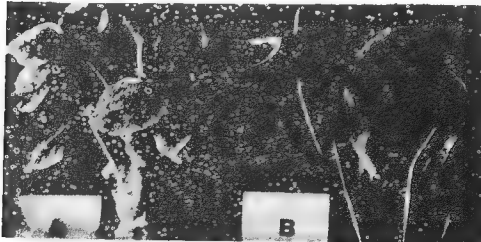
ويساعد البوتاسيوم ايضاً في المحافظة على الجهد الازموزي وامتصاص الماء (Epstein 1972) . تفقد النباتات المجهزة بكميات كافية من البوتاسيوم ماء اقل بسبب ان البوتاسيوم يزيد الجهد الازموزي وله تاثير موجب على اغلاق الثغور (Humble and Hsiao 1969) .

كما يعمل البوتاسيوم على توازن شحنات الايونات السالبة ويؤثر على امتصاصها وانتقالها . وقد وجد بان البوتاسيوم يقلل الاصابة ببعض الامراض وبذلك يقلل اضطرار نباتات النرة الصفراء (Liebhardt and Munson 1976) لاسباب

فسيولوجية غير معروفة لحد الآن . على سبيل المثال ، يقلل البوتاسيوم الإصابة بذبذول *Verticillium* معنوياً على القطن . (Hafez et al. 1975) .

لقد وجد بأن البوتاسيوم يلعب دوراً حيوياً في التمثيل الضوئي عن طريق الزيادة المباشرة للنمو ودليل المساحة الورقية . ومن ثم تمثيل ثاني الكربون وزيادة انتقال نواتج التمثيل خارج مناطق التمثيل (Wolf et al. 1976) هذا ويبدو ان تأثيره على الانتقال ناتج من تكوين الكثير من الـ ATP الضرورية لتحميل نواتج التمثيل في اللحاء . ويمكن ان يحل الصوديوم محل البوتاسيوم في عدد من المحاصيل وخاصة البجر السكري والقطن . وان هذا التعويض فعال بالحد الأدنى في بعض المحاصيل الاخرى مثل الذرة الصفراء والبيضاء (arschner 1971) .

ويكون المستوى الحرج للبوتاسيوم في النبات عالي نسبياً . عادة حوالي ١٪ او اربعة اضعاف الفسفور . يمتص ما يقارب جميع البوتاسيوم خلال مرحلة النمو الخضري . وينتقل جزءاً قليلاً الى الثمار او الحبوب . اثرت اضافة البوتاسيوم للحنطة خلال مرحلة التكاثر قليلاً على حاصل الحبوب (Chapman and Keay 1971) . ويؤدي نقص البوتاسيوم الى زيادة اضطجاع جذور وسيقان الذرة الصفراء (Liebhardt and Murdock 1965) . وقد يسبب ذلك الإصابة بالامراض . وكذلك يقلل عدد الجنود الهوائية وتتجزأ برنكيما الساق عندما يحذف البوتاسيوم من السماد . مثلاً صفر - صفر - N او صفر - P - N . ويسبب نقص البوتاسيوم الشديد تكوين بقع بين العروق وتحرق قمة وحافات الاوراق القديمة لعدد من الانواع (شكل ٥ - ٧) .



شكل (٥ - ٧) - A - نبات فول الصويا يعاني من نقص شديد من عنصر البوتاسيوم : B - نبات لا يعاني اي نقص من العناصر . لاحظ تحرق حافات الاوراق وتكون نبات قصير . وهي اعراض النقص .



شكل (٥ - ١٨) يوضح نقص الكالسيوم في نبات الفاصولياء . لاحظ نقص النمو وتعييرات وتشويه الاوراق الحديثة . القنات لم تتكون او انها قد سقطت .

الكالسيوم Calcium.

بسبب احتواء معادن عديدة على الكالسيوم فان قشرة الارض تحوي على كمية كبيرة نسبياً من الكالسيوم . ويعد الابتايت Apatite (فوسفات الكالسيوم) وال calcite (CaCO_3) والد dolomite ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) من معادن الكالسيوم الشائعة . الا ان غسل الترب الناجمة من هذه المعادن تحت الظروف الرطبة يؤدي عادة الى خفض محتواها من الكالسيوم . وقد تحوي الترب المشتقة من ال marl (طين غني بكاربونات الكالسيوم) ومادة الجير chalk, او

الصخور الكلسية limestone على أكثر من ١٠٪ كالسيوم . ان تعدين النايروجين الى ترات وتكوين ترب حامضية قليلة الكالسيوم والمغنيسيوم والى تحطيم او هدم تركيب التربة بسبب استبدال هذه الايونات الموجبة الممدصه بايونات الالمنيوم Al^{3+} والهيدروجين H^+ في غرويات التربة . وفي تطبيقات الزراعة الحديثة تستخدم صخور كلس الدولومايت dolomitic limestone كمحسن للتربة لرفع حموضتها pH لتجهيز عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم .

يمتص الكالسيوم كايون موجب ثنائى الشحنة Ca^{2+} . وهو أقل العناصر انتقالاً او تحركاً في النبات من العناصر الاساسيه . يمتص وينتقل بطريقة الامتصاص غير الحيوي . حيث يدخل النبات خلال الغطاء الحر وينتقل الى الاعلى مع التدفق النتحى . transpiration stream (Epstein 1972) ومقارنة مع الايونات الاخرى . هناك انتقال قليل او معدوم للكالسيوم في اللحاء . ويمتص الكالسيوم كثيراً على مواقع التبادل في الفضاء الحر وربما يحصل هذا بسبب عدم وصول الكالسيوم الى اعضاء النبات الاخرى . ويتطلب فستق العقل كميات كبيرة من الكالسيوم في منطقة تكوين المهايز pegging zone لاجل تكوين ثمار طبيعية . حيث تمتص المهايز والثمار الكالسيوم مباشرة (Harris 1948)

ويعتقد بان التدفق النتحى لهذه الثمار الموجودة تحت سطح التربة معدوم لذا فانها تكون غير كفوءة في حصولها على الكالسيوم من جذور النبات .

يدخل الكالسيوم في تركيب جدران الخلايا . حيث تعتبر بكتات الكالسيوم مادة بناء مهمة للجدران . وقد وجد الكالسيوم ايضاً في فجوات الخلية على هيئة اوكرالات الكالسيوم وكاربونات الكالسيوم حيث تعمل هذه الاملاح على المحافظة على الاحماض العضوية الى مستويات غير سامة . وهو ضروري للانقسام والتوسع الخلوي . ويؤدي نقص الكالسيوم الى نمو غير طبيعي للمرتيمات (العنبر . الساق . الثمرة والعقدة) وتوقف النمو (McKenty 1981) ويعتقد ان ناتج من قلة انتقاله في اللحاء قلة حركته في النبات . فقد توقف نمو الفوصوليا الحزمية bunch bean مباشرة بعد سحب الكالسيوم من المحلول الفنائى . والكالسيوم ضروري ايضاً لتنظيم العمل الانتخابى لاغشية الخلية .

ترتبط حالة الكالسيوم في النباتات بدرجة عالية بكموضة التربة pH والتي تأثيرها اكثر من تأثير جاهزية الكالسيوم . وكما ذكرنا انفاً فان الكالسيوم يؤثر على جاهزية العناصر الاخرى وعلى نمو الاحياء المجهرية وخاصة البكتيريا .

وبين جدول (٥ - ٢) حموضة التربة المثالية لعدد من المحاصيل . ان الكثير من محاصيل البقول قد نشأت في مناطق معتدلة المناخ لذا فان متطلباتها من الكالسيوم تكون عالية . وعندما ينمو المحصول البقولي كالجبت في ترب ذات pH منخفض (حموضة عالية) فان النباتات تصبح مباشرة قصيرة وصفراء اللون . هذا وقد بين المؤلف (Gardner) بوضوح بان مثل هذه النباتات لاتكون عقداً جذرية وتعاني من نقص النايتروجين وقد اصبحت خضراء عند اضافة النايتروجين لها .

هذا ويبدو ان الحساسية الرئيسية للحموضة هي للبكتريا المثبتة للنايتروجين *Rhizobium meliloti* وليس لنباتات الجبت .

ويمكن الاستنتاج بان نقص الكالسيوم في الكثير من البقوليات الذي يؤدي الى توقف نمو واصفرار النبات يعود اساسا الى نقص النايتروجين الناجم من حساسية البكتريا التعايشية لحموضة التربة . يوجد اختلاف كبير بين انواع الرايزوبيا في حساسيتها للحموضة الا ان انواع المناطق المعتدلة اكثر حساسية .

يظهر نقص الكالسيوم على اجزاء النبات الحديثة اولاً (شكل ٥ - ٨) كشويه لون الاوراق ، ونادراً ما يلاحظ النقص على الاعضاء القديمة . لا ينتقل الكالسيوم من الانسجة القديمة الى الحديثة في النبات . لذا فان الاوراق الحديثة والثمار تعتمد كلياً على الكالسيوم المتاح بالتدفق النتحى للخشب . ويؤدي نقص الكالسيوم في مرحلة

نمو الثمار الى الاصابة بتعفن *blossom-end* في الطماطة والقلب البني (Harris 1948) في فستق الحقل .

هناك دلائل على ان حجم ثمار الحمضيات في ولاية فلوردا تتأثر بنقص الكالسيوم بالرغم من ان الجنور مجهزة بكميات كافية (Koch 1982)

المغنيسيوم *Magnesium*

يأتي مغنيسيوم التربة اساساً من تجوية المعادن الاولية (مثل *olivine* و *dolomite* و *serpentine* و *hornblende* و *biotite* . كما يوجد ايضاً في المعادن الثانوية (مثل ال *vermiculite* و *montmorillonite* و *illite* . تكوين الترب الصحراوية عادة غنية بال $MgSO_4$ و *dolomite* ويوجد الكالسيوم في محلول التربة في حالة ممدصة على جزيئاتها مع الايونات الموجبة الاخرى .

وفي المعادن الاولى والثانوية . وبصورة عامة يكون المغنيسيوم حوالي ٤ - ٢٠ ٪ من سعة التبادل الايوني CEC مقارنة مع ٨٠ ٪ كالسيوم و ٥٠ ٪ كالسيوم وكما هو متوقع يحل الالمنيوم Al بدل المغنيسيوم في الترب الرطبة .

ويمتص المغنيسيوم بطريقتي الامتصاص الحيوي وغير الحيوي . وينتقل داخل النبات اساساً بالتدفق النتحى . الا ان المغنيسيوم اكثر انتقالاً في النبات من الكالسيوم . فقد وجد منغيسيوم اكثر من الكالسيوم في اللحاء (نقل حيوي) بدراسات *autoradiogram* (Steucek and Koontz 1970) . تعتمد الثمار التي تكون في مرحلة التطور واعضاء الخزن على اعادة انتقال المغنيسيوم من الاوراق القديمة باللحاء . هذا وان اعراض النقص تتكون مقارنة مع الكالسيوم (McKently 1981)

يوجد المغنيسيوم في مركز جزئية الكلوروفيل ، وهو منغيسيوم ملتصق او كلاهي *Mg-chelate* . فهي البلاستيكة الخضراء . وهو ايضاً يلتصق مع الـ ADP والـ ATP والاحماض العضوية وبهذا فهو ضروري لمئات التفاعلات الانزيمية .

يكون المغنيسيوم جسراً بين الـ ATP وجزئية الانزيم وهو ضروري في عملية الفسفرة الضوئية *photophosphorylation* في تفاعلات تمثيل وهدم التمثيل الضوئي وفي اكسدة الفسفرة في التنفس والمغنيسيوم عامل مرافق لعدد من الانزيمات التي تنشط تفاعلات الفسفرة في تحليل السكر وكذلك في دورة حامض الكربوكسيلك الثلاثي .

وبما انه مطلوب لتنشيط انزيم *tricarboxylic acid* (Hewett and Smith 1975) *RuBP carboxylase* ، لذا فان معدله يحدد عملية التمثيل الضوئي . يعتمد ايض النايروجين وتمثيل البروتين على وجود المغنيسيوم ، ويعتقد انه يشجع تكوين الرايبوسومز *ribosomes* .

تظهر عادة اعراض نقص المغنيسيوم اولاً كاصفرار بين عروق الاوراق القديمة وقد يزداد ويؤثر على الاوراق الحديثة (Chapman 1966) . وهو كالبوتاسيوم ينتقل داخل النبات لهدما . الا انه لا يشابه الكالسيوم . وتأثير الاوراق القديمة اولاً بنقصه . فقد وجد بان نقص المغنيسيوم يؤثر على مكونات البلاستيدات الخضراء للفاصوليا الحزمية (Thomson and Weier 1962) ، مسبباً انخفاض في عدد وحجم الكرانا *grana* ويبدأ الاصفرار على حافات وقسم الاوراق ثم يدخل الى الخلايا البرنكيميكية للورقة . وتبقى العروق خضراء . وفي حالات النقص الشديد للمغنيسيوم تموت الاوراق وتتاخر مرحلة التكاثر (McKently 1981) .

في الخلاصة المغنيسيوم يدخل في تركيب جزئية الكلوروفيل وينشط انزيمات التمثيل الضوئي والتنفس وضروري لتمثيل البروتين . وقابل للانتقال داخل النباتات من الاجزاء القديمة الى الحديثة . لذا فان اعراض نقصه تظهر أولاً على الاوراق القديمة كاصفرار الانسجة بين العروق .

تنشيط الانزيمات ونقل الالكترونات ENZIME ACTIVATION AND ELECTRON TRANSPORT

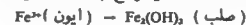
الحديد iron.

يكون الحديد حوالي ٥ % من قشرة الارض ويوجد في جميع ترب العالم . تعد
سلكات المغنيسيوم الحديدية ferromagnesium silicates, المعادن الاولى
لمصدر الحديد مثل ال hematite, hornblende, augite, olivine

وقد (Fe₂O₃), magnetite (FeO₄), and siderite (FeCO₃).
يوجد الحديد في ال lattices المعادن الثانوية (مثل المونتموريلينايت) .

تعطي معادن مغنيسيوم الحديد المعرضة لتجوية عالية اكاسيد hydrous
Fe-oxides ان وجود هذه الاكاسيد مع الطين واكاسيد الالمنيوم تتركز في ترب

lateritic . (مثل Oxosols والتي عادة تسبب مشاكل خدمة كثيرة . ومن
المحتمل ان جميع الترب تحوي على كميات كافية من الحديد . الا ان قابلية
للنوبان التي تنظم بالدرجة الرئيسية بحموضة التربة قد تكون منخفضة للحد الذي
يسبب نقص الحديد . وخاصة في الانواع والاصناف غير الكفوة في استخدام الحديد
(شكل ٥ - ١٩) . وقد تنخفض قابلية الحديد للنوبان الف مرة لكل وحدة تغيير
في ال pH (Lindsay 1972a) كما هو موضح بالمعادلة التالية ,



تربة قلوية تربة حامضية

في الترب سيئة الصرف . تكون صورة الحديد المختزل او الحديدوز (Fe²⁺)
forms هي السائدة وتزداد ميسورية الحديد حتى قد تصل الى درجة السمية
(وتعرف بال bronzing في حقول الرز) .



شكل (٥ - ١٩) يوضح الاصفرار الناتج من نقص الحديد في نبات الشيلم (يسلر) . والنمو الطبيعي للنباتات التي تمانى من نقص الحديد المضاف كمادة كلاية (يمين) .

يمتص الحديد في الغالب على صورة حديدوز Fe^{2+} ، بالرغم من وجد الحديدك Fe^{3+} ومركبات الحديد الكلاية Fe -chelates في منطقة الجنور . ان اختزل الحديد ضروري للامتصاص ، ومن المحتمل ان يكون مصدر الالكترون والسايتوكرومات والفلافينات flavins عند غشاء البلازما (Chaney et al. 1972) . تؤثر وتنافس الايونات الموجبة الاخرى على امتصاص الحديد . حيث ان التهوية الجيدة والـ pH العالي وايونات الكالسيوم والفوسفات والنترات تقلل امتصاص الحديد بينما لا تؤثر ايونات الامونيوم عليه (Kirkby 1979) (Mengel and

يدخل الحديد في مكونات انزيمات نقل الالكترونات مثل السايتوكرومات والفيرووكسين ferredoxin, الفعالة في التمثيل الضوئي وتنفس الميتاكوندريا . كما انه يدخل في تكوين انزيمات الـ catalase والـ

peroxidase التي تساعد في تحليل الـ H_2O_2 الى H_2O و O_2 وبذلك تمنع سمية الـ H_2O_2 . والحديد جنباً مع الموليبدنم يدخل في تركيب **nitrite reductase** انزيمات والـ **nitrate reductase** وانزيم النايتروجينيز المثبت للنايتروجين الجوي . وبالرغم من أن الحديد ليس جزءاً من جزئية الكلوروفيل فهو يؤثر على مستوى الكلوروفيل بسبب انه يجب ان يتواجد لتكوين مركبات البلاستيدات الخضراء الاخرى . ويؤدي الحديد الى خفض عدد وحجم البلاستيدات الخضراء فقد وجد بان الكرانة والاغشية **lamella** تقل في البلاستيدات الخضراء في النباتات التي تعاني من نقص الحديد (Stocking 1975)

الحديد من العناصر التي لاتتحرك في النبات ولايعاد توزيعه بين اجزاء النبات . لقد لاحظ Brown في سنة ١٩٦١ اختلافات كبيرة بين تراكيب وراثية مختلفة في كفاءة امتصاص الحديد . ويؤدي نقص الحديد الى اصفرار النباتات (شكل ٥ - ١٩) . ويبدو انها مشكلة ابضية اكثر مما هي عملية امتصاص (Foy et al. 1977) . تعتبر الانواع والاصناف التي تعزز كميات كبيرة من ايونات OH^- غير كفؤة في استخدام الحديد . ان محاصيل الحبوب والحشائش كالحنطة ذات افراز عالي لايون OH^- (Van Egmond and Aktas 1977) . ونباتات الطماطة الكفؤة فهي استخدام الحديد تفرز مختزلات مثل **caffeic acid** تحت ظروف قلة الحديد وتؤدي الى تكوين وسط حامضي في منطقة الجذور يشجع اذابة الحديد (Olsen et al. 1981) . *

تعتمد الاوراق حديثة العمر على الامتصاص الجديد للحديد . وقد يكون هناك تأثير قليل او معدوم لمركبات الحديد غير العضوية المضافة للتربة في تعديل النقص ماعدا المستويات العالية منها وذلك بسبب ان مثل هذه المركبات تتحول بسرعة الى صور غير ميسورة للنبات . وقد ادى استخدام الحديد بصورة حديدوز ($FeSO_4$) على الاوراق الى بنض النجاح . وكان التسميد بمركبات الحديد الكلالية كمحسّنات للتربة او رش على الاوراق اكثر فعالية . هنا وان **Fe-EDTA** و **Fe-montmorillonite clay** اكثر فعالية من **Fe-EDDHA** لمعاملة الترب الملحية (Navrot and Banin 1976) ويرتبط نجاح رش $FeCl_3$ على الاوراق على عدد من انواع المحاصيل على عدد الثغور في الورقة والرش اثناء وجود الضوء وليس اثناء الليل واستعمال المواد المبللة **surfactants** (Edings and Brown 1967) . -

المنغنيز. Manganese.

تجهز معادن المنغنيز الحديدية الموجودة في التربة عنصري المنغنيز والحديد ،
والعنصرين متصاحبين معاً وإن أكاسيدهما شائعة في الترب . ويتراوح محتوى
المنغنيز لاغلب الترب من ٢٠٠ - ٣٠٠٠ جزء بالمليون .

وكمجموع فهي كمية كافية ، لكن ليس من الضروري ان يكون كافي على اساس
المنغنيز الميسور . يوجد المنغنيز بالترب كايون ثنائي الشحنة Mn^{2+} divalent
في محلول التربة بصورة متبادلة ، وتتواجد اكاسيد المنغنيز Mn^{++} و Mn^{+++} بحالة
توازن مع صور المنغنيز الاخرى . يسود ايون المنغنيز Mn^{++} في الترب ذات الـ PH
المنخفض . وفي وجود المواد الكلالية الطبيعية . وفي ظروف الاختزال مثل الغمر
بالماء . وقد يؤدي الغمر بالماء كما في حقول الرز وبمض الترب ذات الـ pH
المنخفض الى توليد منغنيز ذائب الى مستويات سامة . يمتص المنغنيز بطريقة
الامتصاص الحيوي وقد يتنافس مع بعض الايونات الموجبة وخاصة مع الـ Al والـ H
ويعتقد انه ينتقل داخل النبات بطريقة الانتقال غير الحيوي . ينشط المنغنيز عدد
من الانزيمات وخاصة تلك التي تشترك في تمثيل الاحماض الدهنية
والنيوكليوتايدات . وضروري في التنفس والتمثيل الضوئي . وفي التمثيل الضوئي
يتأكسد Mn^{++} الى Mn^{+++} وينتقل الكترول واحد من الماء الى جزئية الكلوروفيل . وقد
يحلل المنغنيز بدل المنغنيسيوم في بعض التفاعلات . حيث ان كلاهما يستطيعان
عمل جسراً بين الانزيمات (مثل انزيم phosphotransferase و phosphokinase

كما ان المنغنيز ينشط انزيم اندول استيك اسيد (IAA) اوكسيدز الذي
ينتج بتركيز اقل من الـ IAA في الانسجة . والمنغنيز كالحديد والمنغنيسيوم
لا يتحرك نسبياً . الا انه ينتقل تفضيلاً الى انسجة حديثة او انسجة مرستمية . ولا
تعتمد هذه الاجزاء على المنغنيز المنتقل من الاوراق القديمة . لذا فان اولى الاجزاء
التي تظهر اعراض نقص المنغنيز هي الاوراق الحديثة وتكون على شكل بقع
lesions . وبعد ١٠ جزء بالمليون حد حرج للمنغنيز في انسجة اوراق النرة
البيضاء الحديثة (Ohki 1975)

ان الشوقان حساس لنقص المنغنيز . وتختلف اصناف فول الصويا كثيراً في
تحملها نقص المنغنيز . على سبيل المثال . يعتبر الصنف 'Bragg' مقاوم بينما
الصنف 'Forrest' حساس (Brown and Jones 1975) يحصل نقص المنغنيز عادة

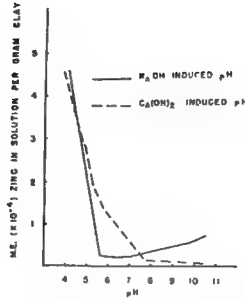
في الترب الملحية الغثة peat بسبب قلة جاهزيته في الـ pH العالي (شكل ٥ - ٤) وتثبيته بالاحياء الدقيقة . ويمكن تعريض نقص المنغنيز برش $MnSO_4$ على الاوراق او مركبات المنغنيز الكلالية (Mn-EDTA) . في ترب الـ Podzol المغسولة يكون المنغنيز فيها منخفض ويمكن تصحيحه بمعاملة التربة بـ $MnSO_4$ وهي طريقة فعالة .

الزنك Zinc

يأتي الزنك في الترب من معادن مغنيسيوم الحديد augite و hornblende و biotite، والتي توجد في صخور basic igneous. كما انه يتواجد في المعادن الثانوية كـ ZnFe₂sphalerite و (ZnO), smithsonite (ZnCO₃).

وقد يتواجد كبريت الزنك Zinc sulfide في ظروف الاختزال . وكما هو الحال مع العناصر الموجبة الأخرى فان ايونات الـ Zn^{2+} و $ZnOH^+$ قد تحتل مناطق التبادل على غرويات التربة . وعموماً يوجد ارتباط موجب بين مستويات الزنك وزيادة المادة الجافة وارتباط سالب مع زيادة الـ pH (شكل ٥ - ١٠) (1957 Thorne). ويتفاعل الزنك مع المادة العضوية ليكون مركبات زنك عضوية معقدة . ان حوالي ٦٠ ٪ من هذه المواد الكلالية ذائبة وتشكل المصدر الرئيسي للزنك في التربة (Hodgson et al. 1966). ويرتبط جاهزية الزنك سلباً مع ذوبان الفسفور (Terman et. al. 1975). وجد Leggett في ١٩٥٢ (بعد Terman 1957) انخفاض مقداره ٣٠ - ٥٠ ٪ من محتوى الزنك في نباتات الذرة الصفراء المسمدة بحوالي ٣٠٠ كغم فسفور / هكتار . هذا وقد تم الحصول على نتائج مشابهة مع الحمضيات في كاليفورنيا والذرة الصفراء في نبراسكا .

يمتص البوتاسيوم اساساً كايون ثنائي الشحنة Zn^{2+} ومن المحتمل ان قسماً يمتص $ZnCl^+$ و $ZnOH^+$. وقد وجد بان المنغنيز والحديد مضادة لامتصاص الزنك (Reddy et al. 1978)



شكل (٢٠٠٥) تأثير الـ pH على الزنك في معلق طين البنتونيت bentonite

لقد وجد بان الزنك ضروري للانزيمات في تمثيل التربوفين, tryptophan, الذي هو اصل (IAA) precursor (Nason 1958; Lindsay 1972b).

يكون محتوى التربوفين والاندول حامض خليك في النباتات التي تعاني من نقص الزنك قليل واورقها صغيرة وتسقط بوقت مبكر. ويكون الزنك ايضا انزيم carbonic anhydrase الذي يساعد التفاعل التالي $H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$.

الزنك والنحاس يكونان انزيم superoxide dismutase الذي يستطيع فصل جزيئة الاوكسجين. في فول الصويا يؤدي مستوى الزنك الاقل من المستوى الحرج ١٢ مايكروغرام / غرام في الورقة الثالثة (من القمة) الى تقليل التمثيل الضوئي وفعالية انزيم carbonic anhydrase (Ohki 1978).

وقد سبب نقص الزنك انخفاض تمثيل RNA. وثبات الرايبوسوم (Prask and Ploke 1971) وتكون الاعراض المرئية الاولى في فول الصويا اوراق صغيرة الحجم يتبعها اصفرار الاوراق الحديثة. (Kapur and Gangwar 1975). يؤدي النقص الكامل للزنك الى اصفرار بدائي للبرنكيما بين عروق الاوراق. ثم اعاقه نمو الورقة واخيرا موتها. ويمكن تصحيح نقص الزنك برش الاوراق او معاملة التربة بمركبات الزنك الكلالية. ويفضل استعمال Zn-EDDHA على الترب

الملحية بسبب ان الكالسيوم يحل بدل الزنك في المعقد: لقد اضيف $ZnSO_4$ بنجاح بمعدل ٤ - ٥ كغم / هكتار كل ٥ - ٨ سنوات . ويعد معاملة الترب حول اشجار الثمار مثل الجوز الامريكي pecan والبرتقال تطبيق شائع الاستعمال . ويؤدي استخدام الكلس Lim.e الى تصحيح نقص الزنك في البت الا انه يولد نقص البورون B (Brown and Graham 1978). وتختلف اصناف الذرة الصفراء في استجابتها للزنك ز (Safaya and Gupta 1979) وتمد فول الصويا اكثر كفاءة في استخدام الزنك من الذرة الصفراء . لاتوجد علاقة بين نقص الزنك وامتصاصه من التربة . بل ان نسبة الفسفور الى الزنك هي العامل المؤثر على ذلك ، بسبب تنافس الفسفور مع الزنك في العمليات الاليفية (Mengel and Kirkby 1982).

البورون Boron

يشق البورون من المعادن الرئيسية مثل سيليكات البورون ، ويوجد في محلول التربة بمستويات قليلة جدا كحامض البوريك او البوريت (HBO_3) ويمص على جزيئات التربة كجوريت .

قد تحوى الترب المتكونة من الصخور الرسوبية sedimentary rock مثل ال shales على ١٠٠ جزء بالمليون بورون B مقارنة مع ١٥ جزء بالمليون في ترب مكونة من الصخور البركانية igneous rocks (Taylor 1964) ويعد نقص البورون اكثر انتشاراً من نقص العناصر الصغرى الاخرى (Gupta 1979) .

وتؤدي زيادة pH التربة الى خفض كمية البوريت الممتص هذا وتكون جاهزته قليلة في الترب القلوية ذات pH (٧ - ٩) . ويؤدي استخدام كميات كبيرة من الكلس احيانا الى نقص البورون كما هو الحال مع البت .

ويعتقد بان امتصاص البورون مرتبط بحامض البوريك . ويبدو انه يتم اساساً كامتصاص غير حيوي ، وذلك بناء على ملاحظة وجود معقدات بوروب السكريات المعقدة B-polysaccharide complexes في الفضاء الحر . هذا علاوة على وجود كمية قليلة من النقل الحيوي للبورون التي تم توضيحها من قبل Bowen و Nissen (سنة ١٩٧٦) يكون الانتقال غير الحيوي خلال التدفق النتحى . والبورون غير قابل للحركة نسبياً داخل النبات . لذا فان الاعضاء الحديثة تعتمد على الامتصاص الجديد .

يعتقد بأن البورون يؤثر على تكوين الخلايا بتنظيمه انتقال السكر وتكون السكريات العديدة. وتمزى له وظيفة أخرى وذلك باتحاده مع الموقع النشط للفوسفرة لتثبيط تكوين النشاء، والذي بدوره يمنح بلمرة السكر الزائد على مواقع تمثيل السكر. كما ويبدو بأن البورون قد يحدد فيما اذا كان السكر يتحلل لاطلاق الطاقة خلال مسار الكلايكولي (انشطار السكر glycolytic او خلال دورة فوسفات البنتوز pentose phosphate shunt, ان كلا المسارين لتحلل السكر يولدان حامض البيروفيك pyruvic acid ..

ان متطلبات النبات من البورون والكالسيوم تتم بالتعاون معاً، وهذا يوضح بأن البورون كالكالسيوم يحتاجه النبات في تكوين جدران الخلايا وايض المواد البكتينية. انه لمن المشوق معرفة ان عدد من الامراض الفسيولوجية (امراض غير جرثومية nonpathogenic) مثل القلب البني brown heart في الفت وتعفن القلب heart rot في البنجر والتفاف الاوراق في البطاطا (جميعها تشير الى مشاكل تكوين جدران الخلايا) قد اعزيت الى نقص البورون. لم يؤثر استخدام مدى واسع من مستويات التسميد بالبورون على النمو الخضري للنبات الصفراء. الا ان النورة الذكورية للنباتات التي تعاني من نقص البورون لم تغطي حبوب لقاح حية، اضافة الى ان الحرية لم تكن قادرة على استلام حبوب اللقاح الماخوذة من نباتات مسمدة جيداً بالبورون (Vaughan 1977). وقد ادى نقص البورون في نباتات fenugreek الى فشل التزهير والتكاثر وتكوين تركيب بشكل الوردة (تورد rosetting). وتكوين اوراق صغيرة واصفرار النبات (Molgaard and Hardman 1980) وعادة يتم تصحيح نقص البورون باضافة خليط من سماد البوريت ثراً بمقدار ٠.٥ - ٣ كغم / هكتار اورش الاوراق بمعدل ٠.١ - ٠.٥ كغم / هكتار او اضافته في خطوط بمعدل ٢ كغم / هكتار (Gupta 1979).

جدول (٥ - ٥) امتصاص العناصر الأساسية من التربة وههوها في النباتات .

العنصر	الشكل المستقر (كغم / هكتار) (قيمة تقديرية) ^١	كمية العنصر المأخوذة كغم / هكتار (قيمة تقديرية) ^٢	كمية العنصر المتبقية المطروقة في محلول التربة (جزء بالمليون) ^٣	مصدر العنصر في النبات
النيتروجين (N)	NO_3^- ٤٠٠ NH_4^+	٥٠ - ١	٢٠٠ - ٢٠	أحماض أمينية / تشثيل البروتين / أحماض نووية
الفوسفور (P)	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}	١٧ - ١٠	١٠ - ٠,٢	استخدام الطاقة من الغذاء المخزون
الكبريت (S)	SO_4^{2-}	١٠ - ١	٢٢	مياه (H ₂ O - S)
البوتاسيوم (K)	K^+	٥٠ - ٥	٢٠٠	Hexo-line
الكالسيوم (Ca)	Ca^{2+}	١٠ - ٢	١٢٠	بكتات الكالسيوم
المغنسيوم (Mg)	Mg^{2+}	٥ - ٥	٢١	الكليروفايل / التنفس
الحديد (Fe)	Fe^{2+}	أمر ضئيل	٥,٦	السايتوكرومات / الهيموجلوبين
المنغنيز (Mn)	Mn^{2+}	أمر ضئيل	٠,٦	تكوين الأحماض الأمينية
البورون (B)	BO_3^{3-}	أمر ضئيل	-	من المحلول لتغذية السكريات
الزنك (Zn)	Zn^{2+}	أمر ضئيل	٠,٢	إحتزال الببتات
الزئبق (Zn)	Zn^{2+}	أمر ضئيل	٠,٢	Dehydrogenase
الموليبدينوم	MoO_4^{2-}	أمر ضئيل	٠,٢	Nitrate reduction
الكوبالت (Co)	Co^{2+}	أمر ضئيل	-	الفسفرة الضوئية

١ من جامعة أيارا التركية ١٩٦٥ .

٢ Schrock and Frazer 1964 .

النحاس Copper

يوجد النحاس في المعادن الأولية والثانوية . الا انه يتواجد بالدرجة الرئيسية في المركبات العضوية المعقدة . ويوجد النحاس في التربة كايون متبادل على جزيئات التربة وبكميات قليلة في محلول التربة . ويكون النحاس الممدص مربوط بقوة على الجزيئات . وقد يحل بدله لحد معين ايونات موجبة اخرى . ولهذا السبب يتم التغلب على نقص النحاس باستخدام مركبات النحاس الكلالية (المغلفة) Cu-chelates وعادة يكون النحاس الكلي في التربة اقل من ٥٠ جزء بالمليون وهو يفسل بسهولة لذا فان الترب الرملية يكون محتواها من النحاس منخفض في ولاية فلوردا . يصاحب نقص النحاس الترب العضوية لذا فان حاصل الخيار الناتج من الترب الرملية المزيجية الناعمة يزداد بمقدار الضعف عند اضافة ٢.٢٤ كغم / هكتار CuSO_4 ويزداد أكثر من ذلك باضافة ٨.٩٨ كغم / هكتار - CuSO_4 (1980) الى نقص النحاس في حقول الجت في الترب الحامضية ذات pH (٣.٥) وقد تم تصحيحه باضافة النحاس (Brown and Graham 1978) . يتراوح محتوى اغلب النباتات من النحاس من ٢ - ٣٠ جزء بالمليون (Mengel and Kirkby 1979) .

للنحاس دوراً مهماً في التمثيل الضوئي . وكونه جزءاً من انزيم البلاستوسيانين plastocyanin في البلاستيدات الخضراء الذي يساهم في نظام نقل الالكترونات بين النظام الضوئي الاول والثاني - ان اغلب النحاس في النبات يتواجد في العضيات organelles . والنحاس جزءاً من عدد من انزيمات الاكسدة مثل ascorbic acid oxidase و polyphenol oxidase وكما سبق ذكره فان النحاس والزنك تتواجد في انزيم super oxide dismutase الذي يستطيع فصل الاوكسجين في الاحياء اللاهوائية . وهو عامل مرافق لتمثيل بعض الانزيمات .

تكون بعض المحاصيل مثل الشوفان حساس لنقص النحاس . ففي مرحلة التفرعات تصبح قمة الاوراق بيضاء وتلتوي وتعطي مظهر شجري bushy . هذا وقد يفشل النبات في تكوين السنابل والهنور وفي الاشجار المثمرة يتوقف نمو الافرع القمية او العلوية وقد تموت في موسم الصيف . وتختلف الانواع والاصناف في تحملها لنقص النحاس . فمثلاً نباتات فول الصويا ذات تحمل عالي لنقص النحاس

وقد تصبح الترب التي ترش بالنحاس مرات عديدة سامة . مثلا الرش بخليط Bordeaux . الا ان اغلب الترب تكون ذات تنظيم عالي ضد النحاس الحر بكميات كافية ليصبح سام وذلك عن طريق امدصاص النحاس بشدة ويمكن التخلص من اعراض نقص النحاس باضافة مواد نحاس كلالية (مغلقة) مثل Cu^{++} (diethyltriaminepentacetate) DTPA

المولبيدينم Molybdenum

ياتي المولبيدينم من تجوية المعادن التي تشمل على (المختزل) ومركبات الاوكسجين المعقدة oxycomplexes مثل Ca-MoO_4 والاشكال المتشعبة hydrated forms . يمتص المولبيدينم كايون سالب ثنائي الشحنة (MoO_4^{2-}) ويتواجد بتركيز منخفضة في محلول التربة $2 \times 10^{-6} - 8 \times 10^{-6}$ مولر (Lavy and Barber 1964). إن معدل ماحتوية الترب الزراعية من المولبيدينم هو ٢ جزء بالمليون (Swaine 1955) ويحصل نقص المولبيدينم عند تراكيز اقل من واحد جزء بالمليون في سواحل أيفري (Ivory 1980) (Eschbach) والمستوى الحرج في الورقة رقم ١٧ لنخيل الزيت هو ٠.١ - ١ جزء بالمليون .

تزداد جاهرية المولبيدينم بزيادة الـ pH (شكل ٥ - ٤) . لذا فان جاهريته تزداد بأضافة الكلس . وهناك قول في استراليا « اونس واحد من المولبيدينم يعادل طن من الكلس » يشير هذا القول الى ان كمية سعاد المولبيدينم القليلة المضافة الى المراعي تساوي في فعاليتها على تشجيع النموطن من الكلس بالهكتار . تقدم الاحياء في الترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية على تثبيت المولبيدينم وهو سريع الغسل لذا فان ترب الـ Podzols قد تصبح فقيرة في محتواها من المولبيدينم .

الاستخدام الوحيد للمولبيدينم هو في انزيمات nitrite reductase و nitrate reductase حيث يعمل حامل للالكترونات بين حالة الاكسدة والاختزال . وتشمل اعراض نقص المولبيدينم على مرض الذيل الوسطي whiptail والموت الرجعي dieback على القرناييط والبروكلي broccoli . ويحدث احيانا اصفرار بين العروق . ولم يكن بالامكان حصول اعراض نقص مرئية على نخيل الزيت في مزارع العناصر الغذائية (Eschb-

ach 1980) . ويمكن تصحيح نقص الموليبدنم بإضافة الكلس الى التربة او بإضافة Na_2MoO_4 .

الكلور . Chlorine.

يعد الكلور اكثر الايونات السالبة تواجداً في الطبيعة وقد يكون بمستويات عالية جداً في المناطق القريبة من البحر . والاراضي المتكونة على البحيرات . والاراضي المفسولة قليلاً في المناطق الجافة والاراضي المروية في المناطق الجافة . ان محتوى البحر من كلوريد الصوديوم عالي للحد الذي يمنع نمو النباتات الراقية . وقد تحصل النباتات على كمية كافية من الكلور من غاز الكلور في الجو (Johnson et al. 1957) وقد أوضح Hoagland سنة ١٩٤٤ في التربة بغرويات التربة كايون سالب Cl^- بان النباتات تستطيع امتصاص الكلور بتركيز اضعاف تركيزه في المحلول الخارجي ، مشيراً بذلك الى انه يمتص بطريقة الامتصاص الحيوي . ويكون التراكم الطبيعي للكلور في الفجوة ويصبح غشاء الفجوة tonoplast العامل المحدد لمعدل الانتقال (Cram 1973) . تنافس الايونات السالبة الاخرى امتصاص الكلور وخاصة ايون الـ NO_3^- ولا ينتقل الكلور في النبات ويتراكم في الاجزاء القديمة .

ولا يدخل الكلور في مكونات اي مادة اُيضية معروفة . ولكن وجد بانه ضروري في تحرر الاوكسجين في النظام الضوئي الثاني (Talisbury and Ross 1978) وتظهر اعراض النقص أولاً كذبول الاوراق التي تصبح صفراء اللون او صفراء داكنة وهناك تساؤل حول دور الكلور في تقليل الاضطجاع . حيث لوحظ تقليل اضطجاع النباتات عندما سمدت بسماد KCl . ولا توجد فائدة للكلور في تقليل اضطجاع نباتات الذرة الصفراء عند مقارنة الـ KCl و NH_4Cl وقد استنتج بان تقليل الاضطجاع ناجم من الفوائد الحاصلة من البوتاسيوم (Liebhardt and Munson 1976) ونادراً ما تحتاج الترب الى تصحيح نقص الكلور وذلك بسبب الكميات الكافية المتأدية في الهواء والمطر وفضلات الحيوانات .

الخلاصة

تحتاج جميع نباتات المحاصيل الى ستة عشر عنصراً هي
C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, B, Mn, Mo,
والقصب السكري وبعض انواع الحشائش الاخرى الى السيليكون وتحصل النباتات
على العناصر الثلاثة الكربون والهيدروجين والاكسجين من الهواء او الماء وهي
تشكل حوالي ٩٥ ٪ من النباتات . ويتم الحصول على العناصر المعدنية من تجوية
المعادن الاولى والثانوية في التربة ومن التحلل الحيوي للمادة العضوية ومن الغازات
في الجو SO_2 و Cl . واحيانا تعاني التربة الاصلية من نقص تجهيز احد
العناصر الضرورية اكثر لذا فان اضافة الاسمدة التجارية ضروري للانتاج الاقتصادي .
وتعاد عناصر النبات الى التربة عند ارجاع اجزاء النبات اليها .

وعادة تكون كميات قليلة من العنصر جاهزة في محلول التربة وكمية كبيرة
مدصه على جزيئات التربة الناعمة بحالة تبادل وتكون جزيئات جاهزة . وكميات
كبيرة جداً من الضروري ان تكون غير جاهزة كمعادن ومركبات عضوية في
مكونات التربة . ترتبط جاهزية اغلب العناصر لدرجة كبيرة بحموضة التربة
pH وليس بالكمية الكلية لذلك العنصر . ان الكمية المطلوبة من العناصر

الصغرى قليلة فهي تساوي واحد من مليون من حاجة بعض العناصر الكبرى مثل
الكربون . وليس من الضروري التسميد بالعناصر الصغرى ماعدا بعض الترب
العضوية والرملية .

تمتص العناصر كايون بواسطة الجذور سواء من محلول التربة او التبادل
بواسطة الاتصال المباشر *contact exchange* ويمكن امتصاصها وانتقالها
بطريقتي الحيوي وغير الحيوي . والانتقال اما ان يكون عبر الانسجة الميتة او
الحية او كلاهما اعتماداً على العنصر المعدني وتركيزه وينحصر انتقال الكالسيوم في
الانسجة الميتة .

يعد النايتروجين العنصر الاكثر تحديداً لانتاج المحاصيل ماعد المحاصيل
البقولية المكونة جيداً للعقد الجذرية . وغالباً ما يحدد مستوى الحاصل . واطافة
للماء فان النايتروجين يعد العامل الرئيسي المجهز على نطاق الانتاج العالمي . وقد

يحصل نقص شديد للفسفور لانتاجية المحاصيل وخاصة في الترب الحامضية والترب التي يكون تسميدها قليل أو بدون تسميد . والفسفور لا يفقد من التربة كالنايتروجين والفصل وعكس النترجة . ويتحرك كلا العنصرين النايتروجين والفسفور وبعد انتقالها داخل النبات من الاجزاء القديمة الى الحديثة . لذا فان اعراض النقص تحصل أولاً في اجزاء النبات القديمة . وقد يكون البوتاسيوم محدداً لانتاجية المحاصيل وخاصة في الترب الرملية . وتحتوي الترب الطينية او ذات النسجة الناعمة كميات كبيرة من البوتاسيوم المتبادل . ويمتص البوتاسيوم بصورة رئيسية في مرحلة النمو الخضري وعندما يكون متوفر بكميات كبيرة فيكون تواجهه ترفي luxury . وهو ذو حركة عالية داخل النبات لذا فان اعراض نقصه تظهر أولاً على الاجزاء القديمة (تقع حافات الاوراق السفلية) . والبوتاسيوم ليس مكون لاي من مركبات النبات الايضية المعروفة بالرغم من حاجة النبات الكبيرة له للنمو الطبيعي . ويدخل المغنيسيوم في جزئية الكلوروفيل وعامل مرافق للانزيمات المستخدمة في تفاعلات الفسفرة . وهو ينتقل بين اجزاء النبات لذا فان اعراض نقصه تظهر أولاً كاصفرار بين عروق الاوراق القديمة . ومن جهة اخرى نجد ان الكالسيوم غير قابل للانتقال بين اجزاء النبات المختلفة . ويؤدي الكالسيوم الى نمو غير طبيعي للثمار والبراعم الجانبية والى موتها . يتطلب فستق الحقل الكالسيوم في منطقة الثمار وتمتص القنرات الكالسيوم بمعزل عن الجنود .

يحتاج النبات الى كميات قليلة جداً من العناصر الصغرى الميسورة وهي عادة تكون كافية لانتاج المحاصيل . الا ان الترب ذات الـ pH العالي والواطىء والترب العضوية والرملية تعاني من نقص بعض العناصر الصغرى اعتماداً على المحصول . وتكون بعض اتركيب الوراثة اكثر تحملاً لنقص أو سمية العناصر الاخرى . وتدخل العناصر الصغرى في مكونات الانزيمات او انها تكون منشطة لها . وان اغلبها ينتقل داخل النبات من الاجزاء القديمة الى الحديثة . الا ان البورون لا ينتقل لذا فان نقصه بسبب نمو غير طبيعي للنسجة الحديثة مشابهاً لتلك التي يسببها نقص عنصر الكالسيوم .

References

- Aboulroos, S. A., and N. E. Nielsen. 1979. *Acta Agric. Scand.* 29:326-36.
- Allaway, W. H. 1968. In *Advances in Agronomy*, vol. 20, ed. A. G. Norman. New York: Academic Press.
- Arnon, D. I., and Stout, P. R. 1939. *Plant Physiol.* 14:371-75.
- Arnon, I. 1974. *Mineral Nutrition of Maize*. Bern-Warblaufen: International Potash Institute.
- Barber, S. A., and R. A. Olson. 1968. In *Changing Patterns in Fertilizer Use*, ed. L. B. Nelson et al. Madison, Wis.: Soil Science Society.
- Blevins, D. G., A. J. Hiatt, R. H. Lowe, and J. E. Leggett. 1978. *Agron. J.* 70:393-96.
- Bonner, J., and J. E. Varner. 1965. *Plant Biochemistry*. New York: Academic Press.
- Bouma, D. 1967. *Aust. J. Biol. Sci.* 20:613-21.
- Bowen, J. E., and P. Nissen. 1976. *Plant Physiol.* 57:353-57.
- Boyer, T. C., A. B. Carlton, C. M. Johnson, and P. R. Stout. 1954. *Plant Physiol.* 29:526-32.
- Brown, J. C. 1961. *Adv. Agron.* 13:329-69.
- . 1977. *Agron. J.* 69:399-404.
- Brown, J. C., and W. E. Jones. 1975. *Agron. J.* 67:468-72.
- Brown, J. C., and J. H. Graham. 1978. *Agron. J.* 70:367-73.
- Brownell, P. F. 1965. *Plant Physiol.* 40:460-68.
- Brownell, P. F., and C. J. Crossland. 1975. *Plant Physiol.* 49:794-97.
- Chaney, R. L., J. C. Brown, and L. O. Tiffin. 1972. *Plant Physiol.* 50:208-13.
- Chapman, H. D. 1966. *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Science.
- Chapman, M. A., and J. Keay. 1971. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 11:223-28.
- Cram, W. J. 1973. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:757-79.
- Crapo, N. L., and H. J. Ketellapper. 1981. *Am. J. Bot.* 68:10-16.
- Deckard, E. L., and R. H. Busch. 1978. *Crop Sci.* 18:289-93.
- Dibb, D. W., and L. F. Welch. 1976. *Agron. J.* 68:89-94.
- Eddings, J. L., and A. L. Brown. 1967. *Plant Physiol.* 42:15-19.
- Edwards, J. H., and S. A. Barber. 1976. *Agron. J.* 68:17-19.
- Egli, D. B., J. E. Leggett, and W. G. Duncan. 1978. *Agron. J.* 70:43-47.
- Elawad, S. H., G. J. Gascho, and J. J. Street. 1982. *Agron. J.* 74:481-84.
- Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. New York: Wiley.
- Eschbach, J. M. 1980. *Oleagineux* 35:291-94.
- Evans, H. J., and G. J. Sorger. 1966. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 17:47-76.
- Farley, R. F., and A. P. Draycott. 1975. *J. Sci. Food Agric.* 26:385-92.
- Fisher, J. D., D. Hanson, and T. K. Hodges. 1970. *Plant Physiol.* 46:812-14.
- Forde, S. C. 1976. *Trop. Agric.* 54:273-79.
- Fox, R. L. 1976. *Agron. J.* 68:891-96.
- Foy, C. D., P. W. Voigt, and J. W. Schwartz. 1977. *Agron. J.* 69:491-96.
- Gaines, T. P., and S. C. Phatak. 1982. *Agron. J.* 74:415-18.
- Gauch, H. G. 1972. *Inorganic Plant Nutrition*. Stroudsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson and Ross.
- Gupta, U. C. 1979. *Adv. Agron.* 31:273-307.
- Hafez, A. A. R., P. R. Stout, and J. E. DeVay. 1975. *Agron. J.* 67:359-61.
- Hall, S. M., and D. A. Baker. 1972. *Planta* 106:131-40.
- Harris, H. C. 1948. *Plant Physiol.* 23:150-60.
- Haynes, R. J. 1980. *Bot. Rev.* 46:75-99.
- Haynes, R. J., and K. M. Goh. 1978. *Biol. Rev.* 53:465-510.
- Hepper, C. M. 1976. *Crop Sci.* 18:584-87.
- Hewett, E. J., and T. A. Smith. 1975. *Plant Mineral Nutrition*. London: English University Press.
- Hoagland, D. R. 1944. *Lectures on the Inorganic Nutrition of Plants*. Waltham, Mass.: Chronica Botanica.

- Hodgson, J. F., W. L. Lindsay, and J. F. Trierweiler. 1966. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:723-26.
- Humble, G. D., and T. C. Hsiao. 1969. *Plant Physiol.* 44 [Suppl.]:21.
- Iowa State University. 1965. Cooperative Extension AG-26.
- Jenny, H., and R. Overstreet. 1939. *Soil Sci.* 47:257-72.
- Johnson, C. M., P. R. Stout, T. C. Broyer, and A. B. Carlton. 1957. *Plant Soil* 8:337-53.
- Jurinok, J. J., and O. W. Thornc. 1955. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:446-48.
- Kapur, O. C., and M. S. Gangwar. 1975. *Indian J. Agric. Sci.* 45:559-60.
- Koch, K. 1982. Private communication.
- Lavy, T. L., and S. A. Barber. 1964. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:93-97.
- Leggett, J. E., and D. B. Egli. 1980. In *World Soybean Conference II*, ed. F. T. Corbin. Boulder, Colo.: Westview.
- Liebhardt, W. C., and R. D. Munson. 1976. *Agron. J.* 68:425-26.
- Liebhardt, W. C., and T. J. Murdock. 1965. *Agron. J.* 57:325-28.
- Lindsay, W. L. 1972a. In *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wis.: Soil Science Society of America.
- _____. 1972b. *Adv. Agron.* 24:147-86.
- McDaniel, M. E., and D. J. Dunphy. 1978. *Crop Sci.* 18:136-38.
- McElhannon, W. S., and H. A. Mills. 1978. *Agron. J.* 70:1027-32.
- McKenty, A. H. 1981. M.S. thesis, University of Florida, Gainesville.
- Marschner, H. 1971. In *Potassium in Biochemistry and Physiology*. Bern: International Potash Institute.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. 3d ed. Bern: International Potash Institute.
- Molgaard, P., and R. Hardman. 1980. *J. Agric. Sci. [Camb.]* 94:455-60.
- Nason, A. 1958. *Soil Sci.* 85:63-77.
- Navarro, A. A., and S. J. Locascio. 1980. *Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 39:16-19.
- Navrot, J., and A. Banin. 1976. *Agron. J.* 68:358-61.
- Neyra, C. A., and R. H. Hageman. 1975. *Plant Physiol.* 56:692-95.
- Ohki, K. 1975. *Agron. J.* 67:30-32.
- _____. 1978. *Crop Sci.* 18:79-82.
- Okuda, O., and E. Takahashi. 1964. In *The Mineral Nutrition of the Rice Plant*. Baltimore: International Rice Research Institute and the Johns Hopkins University Press.
- Olsen, R. A., R. B. Clark, and J. H. Bennett. 1981. *Am. Sci.* 69:378-84.
- Omar, M. A., and T. El Kobbia. 1966. *Soil Sci.* 101:437-40.
- Pierre, W. H., J. Meisinger, and J. R. Birchett. 1970. *Agron. J.* 62:108-12.
- Plaman, M. G. 1977. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28:71-88.
- Prask, J. A., and D. J. Plocke. 1971. *Plant Physiol.* 48:150-55.
- Ram, L. C. 1980. *Plant Soil* 55:215-24.
- Raddy, K. R., M. C. Saxena, and U. R. Pal. 1978. *Plant Soil* 49:409-15.
- Rice, E. L., and S. K. Panchohy. 1973. *Am. J. Bot.* 60:691-702.
- Russell, R. S., and D. A. Barber. 1960. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 11:127-40.
- Safaya, N. M., and A. P. Gupta. 1979. *Agron. J.* 71:132-36.
- Salisbury, E. B., and C. W. Ross. 1978. *Plant Physiology*. 2d ed. Belmont, Calif.: Wadsworth.
- Schrenk, W. G., and J. C. Frazier. 1964. *Plant Food Rev.*, Fall 1964.
- Shrift, A. 1969. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:475-94.
- Steueck, C. G., and H. V. Kootz. 1970. *Plant Physiol.* 46:50-52.
- Stocking, C. R. 1975. *Plant Physiol.* 55:626-31.
- Swaine, D. J. 1955. *Soil Sci. Tech. Comm.*, no. 48. York, Eng.: Herald.
- Taylor, S. R. 1964. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28:1273-86.
- Terman, G. L., P. M. Girardine, and N. W. Christensen. 1975. *Agron. J.* 67:782-84.
- Thomson, W., and T. E. Weier. 1962. *Plant Physiol.* 37:xi.
- Thorne, W. 1957. In *Advances in Astronomy*, vol. 9, ed. A. G. Norman. New York: Academic Press.

- Troughton, A. 1977. *Ann. Bot.* n.s. 41:85-92.
- Truog, E. 1961. In *Mineral Nutrition of Plants*, ed. E. Truog. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.
- Tucker, B. B. 1981. Personal communication.
- Van Egmond, F., and M. Aktas. 1977. *Plant Soil* 48:685-703.
- Vaughan, A. K. F. 1977. *Rhod. J. Agric. Res.* 15:163-70.
- Viets, F. G. 1944. *Plant Physiol.* 19:466-80.
- Viets, F. G., C. E. Nelson, and C. L. Crawford. 1954. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18:297-301.
- Warren, H. L., D. M. Huber, D. W. Nelson, and W. Mann. 1975. *Agron. J.* 67:655-60.
- Westermann, D. T. 1975. *Agron. J.* 67:265-68.
- Wiklander, L. 1954. *Forms of Potassium in the Soil*. Bern: International Potash Institute.
- Williams, L. M., and G. S. Miner. 1982. *Agron. J.* 74:457-62.
- Williams, M. C. 1960. *Plant Physiol.* 35:500-505.
- Wolf, D. D., E. L. Kimbrough, and R. E. Blaser. 1976. *Crop Sci.* 16:292-94.
- Worley, R. E., R. E. Blaser, and G. W. Thomas. 1963. *Crop Sci.* 3:13-16.
- Yoshida, S., Y. Onishi, and K. K. Tagishi. 1959. *Soil Plant Food [Tokyo]* 5:127-33.



تثبيت النايروجين بايولوجيا

Biological Nitrogen fixation

يعد النايروجين العامل الرئيسي المحدد لانتاج المحاصيل . وتحتوي المادة الجافة الكلية للنبات ١ - ٢ % نايروجين وقد يصل الى ٤ - ٦ % . اما بالنسبة للكمية المطلوبة من النايروجين للانتاج فانه يأتي بالمرتبة الرابعة من بين الستة عشر من العناصر الاساسية .

وعموماً لا يوجد نقص في عنصر النايروجين في اي مكان . ويشكل النايروجين ٧٩ % من هواء الغلاف الجوي التي تكون اثناناً من النايروجين فوق كل هكتار . ومن المؤسف ان غاز النايروجين N_2 خامل او غير فعال نسبياً وهو غير ميسور للنباتات . وتحتوي الترب الرسوية والصخور على كميات من النايروجين اكثر من احتواء الغلاف الجوي . الا ان هذا النايروجين غير متيسر للنبات ايضاً حتى يتحلل بواسطة التجوية weathering . هذا ويكون النايروجين غير العضوي في حالة ايونات NO_3^- و NH_4^+ متيسر للنباتات الراقية فقط . وتستطيع بعض البكتريا والاكتينومايسينات . actinomycetes والطحالب الخضراء المزرقة blue-green algae (Cyanobacteria) وهي النباتات الحية المعروفة في استعمالها ، لغاز النايروجين N_2 . ان فعالية تثبيت النايروجين لهذه الاحياء ضروري الى توازن النايروجين على سطح الكرة الارضية بسبب ان اشكال النيتروجين المثبتة معرضة للفقْد بصورة مستمرة بعملية عكس التترجة denitrification والفصل leaching (جدول ٦ - ١) .

جدول (٦ - ١) تثبيت وفقد النايتروجين في توازن النيتروجين الارضي .

المساحة (هكتار × ١٠ ^٤)	النيتروجين المثبت كغم / هكتار / سنة	طن متري بالسنة × ١٠ ^٤
التثبيت البايولوجي		
البقوليات	٢٥٠ - ١٤٠	١٤ - ٣٥
غير البقوليات	١٠١٥	٥
حقول اليرز	١٣٥	٤
الترب والنباتات الاخرى	١٣٠٠٠	٣٠ - ٩٥
البحار	٣٦٠٠٠	١٠ - ٣٦
التثبيت الصناعي		
		٣٠
		٧,٦
اضافة العرانة		٠,٢
عكس النيتروجين في الارض	٣	٤٣
البحار	١	٤٠
الفقد بالتريسيب		٠,٢

المصدر 1974 . Quispel

كانت الزراعة معتمدة دائماً وبصورة كبيرة على النيتروجين المنتج بواسطة الاحياء المثبتة للنيتروجين الجوي لانتاج المحاصيل . ويعد تعايش بكتريا الرايزوبيم *Rhizobium* مع النباتات البقولية العائلة اهم حالات التعايش وتثبيت النيتروجين . وتستطيع هذه التعايشات تثبيت ١٠٠ كغم / هكتار نيتروجين في الموسم واحياناً تصل هذه الكمية المثبتة الى ثلاث اضعاف . وهو اكثر بكثير من النيتروجين المثبت في الانظمة البايولوجية الاخرى (جدول ٦ - ٢) . وللنباتات البقولية ميزتين مهمتين على المحاصيل الاخرى هي : (١) انها ذاتية التغذية *autotrophic* بالنسبة للنيتروجين والكاربون (لا يحتاج التعايش الى النيتروجين في وسط النمو) . (٢) تضيف البقوليات نيتروجين الى المحاصيل التي تعقبها وفي النظام البيئي الطبيعي (الغابات وارضى الحشائش) تعد البكتريا المثبتة للنيتروجين حرة المقيمة وبعض التعايشات التي تثبت النيتروجين اكثر اهمية من البقوليات في توازن النيتروجين .

جدول (٦-٢) تقدير لكمية النتروجين المثبت بواسطة البقوليات .

المصدر	تقدير النتروجين المثبت (كغم / هكتار)	المحصول البقولى
Waksman 1952	٩٠	الجبث
Alexander 1961	٢٦٠	
Nutman 1965; Bell and Nutman 1971	٢٥٠ - ٤٠	
Fred et al. 1932	٥٠	النفل
Russell 1950	٢٥٠ - ٢٥٠	
Waksman 1952	٦٥	
Nutman 1965	٢٠٠ - ٥٠	البقوليات فى المرى
Nutman 1965	٥٥٠ - ١٠	
Williams 1970	١٧٠ - ٣٠	
Russell 1950	٥٠٠ - ٤٠٠	البارلاء
Nutman 1965	١٤٠ - ٣٠	
Russell 1950	٢٠٠ - ٢٠	
Waksman 1952	٦٥	فول الصويا
Sundara Rao 1971	١٢٠ - ٤٠	
Wetseelaar 1967	٨٠ - ٤٠	
Whitney 1967	٣٦٠ - ٤٠	البقوليات الاستوائية
Henzell 1968	٢٦٠ - ٢٠	

المصدر 1974 Vincent .

الانتاج الصناعي للامونيا :

تقدر حاجة العالم من النيتروجين لانتاج المحاصيل حوالي (120×10^6) ميكا غرام Mg سنوياً ويتوقع ان تزداد هذه الكمية بحلول سنة ٢٠٠٠ الى ما يقارب ٢٠٠ - 240×10^6 ميكا غرام (Gibson 1977) . ويعد الانتاج الصناعي وخاصة طريقة هابر - بوش Haber-Bosch الطريقة الصناعية الرئيسية لانتاج النيتروجين وتمثل ٤٠ % (30×10^6) من هذه الاحتياجات جدول (٦ - ١) . وتحتاج هذه الطريقة الى كمية كبيرة من طاقة البترول (الغاز الطبيعي) كمغذي للهيدروجين ولانتاج درجات حرارة عالية (500°C) وضغط عالي (٢٠٠ بار) لهذه العملية . كما تحتاج ايضاً الى استثمار طاقة كبيرة في صناعة المواد وبناء المعمل والتي تكلف حوالي ١٥٠ مليون دولار .

التفاعل الكيميائي لعملية هابر - بوش كما يلي :



غاز طبيعي (سمرة)

تثبيت النيتروجين الجوي : Atmospheric N₂ Fixation

تقدر الامونيا المثبتة بشحنات البرق سنوياً حوالي 10×10^6 ميكا غرام (جدول ٦ - ١) ويمتلك البرق طاقة كافية لتحويل بخار الماء الى ايونات الهيدروجين H^+ والهيدروكساييد OH^- . وبوجود الاوكسجين تتفاعل هذه الايونات مع جزيئات النيتروجين لانتاج حامض النايترك nitric acid الذي يصل الى الارض مع ماء المطر . ان كمية النايتركسجين المثبتة بالبرق قليلة مقارنة مع كمية النيتروجين المثبت في الكتلة الحيوية biomass ويتمن mineralized ويعيد دورته في الطبيعة بمرور الوقت . هذا يؤدي تغيير النظام البيئي الزراعي الى الاستفادة في تراكم النيتروجين هنا في انتاج المحاصيل . ويؤدي ترك الارض بوراً لفترة طويلة في الغابات الاستوائية الخضراء (اكثر من ١٢ سنة) الى تراكم كمية كبيرة من النيتروجين تقل الى ٥٠٠ كغم / هكتار من التثبيت بالبرق ومصادر تثبيت النيتروجين الاخرى .

تثبيت النيتروجين بايولوجياً : Biological N₂ Fixation

تملك اعداد كبيرة من البكتريا حرة المعيشة وتعايشات بين البكتريا والنباتات الراقية المقدرة على اختزال النيتروجين الجوي الى امونيا (NH₃) . والتفاعل التالي الذي يتم بمساعدة انزيم النيتروجيناز *nitrogenase* شائعاً لجميع الاحياء ،



وتعد البكتريا الاحياء الرئيسية التي تثبت النيتروجين اضافة الى الطحالب الخضراء - المزرقه .

ان تقسيم الاحياء المثبتة للنيتروجين في حالة غير مستقرة نسبياً لحد ما . الا ان التقسيم التالي (Quispel 1974) سوف يوفر دليلاً جيداً لمناقشة الانظمة البايولوجية المثبتة للنيتروجين وهو كما يلي ،

١ . غير تعايشي Asymbiotic (حرة المعيشة)
أ . البكتريا

١ . البكتريا الهوائية : توجد ثلاثة اجناس من عائلة Azotobacteraceae هي *Azotobacter* و *Azospirillum* و *Beijerinckia* وهي ذات اهمية رئيسية

٢ . البكتريا اللاهوائية : تعتبر البكتريا المسماة *Clostridium pasteurianum* اهمها زراعياً واكثرها انتشاراً وجنسين اخرين يقومان بتمثيل ثاني اوكسيد الكاربون هما *Rhodospirillum* و *Chromatium*

ب . الطحالب الخضراء المزرقه Blue-green algae (Cyanobacteria)
ويعد الجنسان *Anabaena* و *Nostoc* اكثر شيوعاً . ويعتبر تعبير Cyanobacteria تقسيم جديد نسبياً (Buchanan and Gibbons 1974) وغير شائع الاستعمال لذا فان مصطلح الطحالب الخضراء المزرقه سوف يستعمل في هذه المناقشة .

٢. تعايش Symbiotic (تكوين العقد (nodulating)) .

أ - تكوين العقد الجذرية

١. الرايزيوم *Rhizobium* تعايش مع البقوليات

٢. الاكتومياسيات *Actinomycetes* (مثل *Frankia*) تعايش مع نباتات
بذرية خشبية . ويعتبر نبات جار الماء *Alnus* (alder) أكثر النباتات
العائلة شيوخاً .

٣. الطحالب الخضراء المزرققة . تعايش مع نباتات عارية البذور وتتكون العقد
على اسطح الجذور (تتطلب الضوء) لانواع النباتات عارية البذور .

ب . تكوين العقد على الاوراق بـ احياء منطقة ما حول الورقة (phyllosphere)

ان عدد من البكتيريا تشمل على بعض الانواع حرة المعيشة تكون عقداً على

أوراق انواع خشبية في المناطق الاستوائية الرطبة .

٣. تكافلي (لا تكون عقد . تعايشية) .

أ. الطحالب الخضراء المزرققة . تعايش مع *Azolla* fern والطحريات (الاشنات

lichens) .

ب . البكتيريا (*Azotobacteraceae*) . تعايش مع الحشائش وتشمل هذه

البكتيريا على *Azospirillum brasilense* و *Spirillum lipoferum* و

Azotobacter paspali وهي شائعة في مراعي المناطق الاستوائية وحشائش

رباعية الكاربون في المناطق شبه الاستوائية .

الاحياء حرة المعيشة : FREE-LIVING ORGANISMS

لقد كانت اولى الاحياء المثبتة للنيتروجين على المقياس التطوري احياء حرة

المعيشة . والتي تشمل على بعض البكتيريا غير ذاتية التغذية (متباينة التغذية)

heterotrophic وبكتيريا التمثيل الضوئي والطحالب الخضراء المزرققة . وتستطيع

هذه الاشكال النباتية الثلاثة تثبيت النيتروجين بدون مساعدة او تعاون الاحياء

الآخري .

وتكون البكتريا متباينة التغذية المثبتة للنيتروجين اما هوائية او لاهوائية او اختيارية (Mulder and Brotonogoro 1974) وتنتشر جميع هذه البكتريا بصورة واسعة في الطبيعة ويساهم النوعين الاول والثاني مساهمة معنوية بكميات النيتروجين المثبتة في توازن النيتروجين في الانظمة البيئية الزراعية والطبيعية .

البكتريا :

تمد عائلة Azotobacteraceae مهمة كبكتريا هوائية حرة المعيشة وخاصة جنس *Azotobacter* و *Azospirillum Beijerinckia* هذا وان جنس *Azotobacter* يعتبر اكثر اهمية من الاجناس الاخرى في الترب الزراعية في المناطق المعتدلة . وتعتبر البكتريا المائدة الى عائلة Azotobacteraceae هي الاحياء حرة المعيشة المثبتة للنيتروجين السائدة في الارض ذات الصرف الجيد . الا ان تثبيت كمية كبيرة من النيتروجين الجوي يتطلب كمية كبيرة من الكربون كتلك المتوفرة من مخلفات المحاصيل الحاوية على نسبة عالية من الكربون الى النيتروجين C-N ratio . وتحتاج البكتريا المختزلة حوالي ١٠٠ كغم من المواد العضوية لتثبيت ١ كغم من النيتروجين . وبسبب عدم امكانية المحافظة على كمية كبيرة من الكربون في الترب ذات التهوية الجيدة في المناطق الحارة . وهو عادة العامل الرئيسي المحدد لتثبيت النيتروجين في النظام .

تحتوي خلايا الـ *Azotobacter* على PBH (poly-β-hydroxy butyrate) الذي يستعمل لتكيس البكتريا وعلى نظام سايتروكروم لنقل الالكترونات مشيراً الى وجود معدل تنفس تاكسدي عالي . وقد قدرت كفاءة الـ *Azotobacter* (اختيارية هوائية) بأنها تثبت ١٠ الى ١٥ ملغم نيتروجين / غم كلوكوز وهذا اسماً مساوياً الى كفاءة بكتريا *Clostridium pasteurianum* اللاهوائية . الا ان الاخرة تؤكسد السكر جزئياً فقط (Mulder and Brotonogoro 1974) تستعمل بكتريا *Azotobacter* قسماً كبيراً من الطاقة في انتاج كتلة خلايا جديدة وقسماً اخر في حماية انزيم النيتروجيناز nitrogenase ضد خلايا الاوكسجين الذي يفقده الفعالية . اما الـ *Clostridium* فهي بكتريا لاهوائية لا تستخدم طاقة لحماية الانزيم ضد الاوكسجين لذا فهي تصل حالة تعادل في الكفاءة بالرغم من تأكسد المادة جزئياً فقط . وبوجود كميات كبيرة من الكربون بهيشة مخلفات النباتات مثل التبن واضافة الى محاسن الترب الغدقة فان بكتريا *C. pasteurianum* اللاهوائية تتكاثر

بسرعة وتؤدي الى زيادة محتوى النيتروجين في التربة. وقد تثبت البكتريا الاختيارية مثل *Klebsiella spp* النيتروجين الجوي ايضاً في التربة.

وتحتاج الاحياء الهوائية واللاهوائية والاختيارية الى ثلاثة متطلبات لاجل تثبيت النيتروجين بصورة فعالة هي ،

١. توفير كمية كبيرة من الكربون .
٢. مستوى منخفض من النتروجين غير العضوي (مثل الامونيا والنترات) في الوسط .
٣. حماية معقد انزيم الـ *nitrogenase* ضد زيادة الاوكسجين .

توجد بكتريا التمثيل الضوئي القادرة على تثبيت النيتروجين بصورة اساسية في الماء الصالح والماء العذب واطيان البحار . وهي اما ان تكون خضراء او ارجوانية اللون . وان الاخيرة مسؤولة عن ما يسمى "red tides." وتقسّم البكتريا الارجوانية الى بكتريا الكبريت الارجوانية *purple sulfur* وبكتيريا غير الكبريت الارجوانية *purple non-Sulfur* وتقوم بكتريا الكبريت الارجوانية باحلال H_2S بدل H_2O كمعطى للالكترونات في التمثيل الضوئي . ويتاين الكبريت كما يلي ،

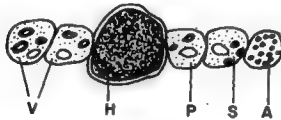


هذا وان البكتريا الغالية او الحاوية على الكبريت متحركة جداً وبامكانها تكوين ترسبات لعنصر الكبريت كتلك التي يستخرج منها حالياً العنصر في المناطق الساحلية .

الطحالب الخضراء المزرقة (Blue-Green Algae (Cyanobacteria)

يعود وجود الطحالب الخضراء المزرقة الى ما قبل العصر الكمبري *precambrian* ويعتقد بانها النباتات التي كانت سائدة في ذلك الوقت . وقد عرفت قدرتها على تثبيت النايتروجين منذ بداية هذا القرن وهي تساهم بدرجة كبيرة في تكوين التربة على اسطح الصخور كجزء من مكونات تعايش الاشنيات .

وتحتوي الطحالب الخضراء المزرقة عادة على سلسلة من الخلايا ، تكون بعضها مستطيلة وذات جدار سميك (شكل ٦-١) . وقد وجد بان لهذه الخلايا المتخصصة *heterocysts* مواقع لفعالية انزيم النايتروجينيز *nitrogenase* . اما الخلايا الاخرى وهي خضرية وقد تحوي على اجسام فوسفاتية بينما يكون القسم الثالث تكاثري ويحوي على الـ *akinetes* (سبورات) . ويعرف حوالي ٤٠ نوع من الطحالب الخضراء المزرقة المثبتة للنيتروجين وخاصة *Nostoc* و *Anabaena* . وكاحياء حرة المعيشة تساهم في توازن النيتروجين في الترب الرطبة والبيئات المغفورة بالماء مثل حقول الرز ويوجد تعايش بين الطحالب الخضراء المزرقة والاحياء الاخرى مثل السرخسيات الصغيرة كالـ *Azolla* . وهي تعايشه وتنتج نتروجين اكثر من الطحالب حرة المعيشة لوحدها . ولقد تم قياس تثبيت النتروجين بالطحالب الخضراء المزرقة بفعالية باستعمال اختزال الاستيلين (C_2H_2) وطريقة تخفيف النتروجين المشع ^{15}N -dilution methods وتستطيع الـ *Azolla* تثبيت مايقارب ٥٠ - ١٠٠ كغم / هكتار نتروجين .



شكل (٦-١) غيط (مقطع عرضي) الطحالب الخضراء المزرقة (*Anabaena cylindrica*) يبين الخلايا الخضرية (V) والـ heterocyst (H) . واجسام عديدة الفوسفات (P) . تراكيب حبيبات الخلايا الخضرية (S) والسبورات (A) (From Stewart 1974)

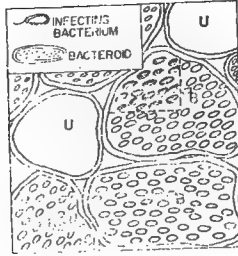
وان الطحالب الخضراء المزرقة اكثر فعالية في البيئات الاستوائية وشبه الاستوائية ومن المحتمل بانها الاحياء الرئيسية المثبتة للنيتروجين في الانظمة المغفورة بالماء . وهي تنمو حرة في الارض المغفورة بالماء وتتصل بسطح التربة والنباتات المغفورة . الا ان Yoshida سنة ١٩٨١ لاحظ بان مساهمتها في توازن النيتروجين في حقول الرز في اليابان قليل مقارنة مع بكتريا بيئة الجنور rhizosphere وتكون الطحالب الخضراء المزرقة فعالة فقط في مراحل النمو المبكر قبل التظليل بكساء الرز .

لقد تبين أن أغلب تقديرات كمية النيتروجين الجوي المثبت في موسم النمو في أنظمة التربة المغورة وتراوح من ٣ - ٣٠ كغم / هكتار اعتماداً على التقنية المستخدمة في أخذ العينات وطريقة التقدير وعلى كمية النيتروجين غير العضوي الموجودة في التربة (Buresh et al. 1980) . لقد قدر Yoshida سنة ١٩٨١ المعدل السنوي للنيتروجين المثبت ٣٠ كغم في حقول الرز المغورة في اليابان إلا أنه لم يعزى هذا كله إلى الطحالب الخضراء المزرققة أما Jones سنة ١٩٧٤ فقد قدر النيتروجين المثبت ٤٦٢ كغم / هكتار في سطح ملحي

حيث كان بين المتبادل إلى القلوي الخفيف والذي قد يشجع تثبيت النيتروجين وبعد الضوء ضروري لنمو الطحالب وتثبيت النيتروجين الجوي . هذا وتؤدي الأمونيا واشكال النيتروجين الأخرى غير العضوي إلى إعاقة تثبيت النيتروجين الجوي . هذا وتؤدي الأمونيا واشكال النيتروجين الأخرى غير العضوية إلى إعاقة تثبيت النيتروجين الجوي . وقد وجد Huang (1978) في تربة فقيرة بالنيتروجين بأن التلقيح أو المعاملة بالطحالب الخضراء المزرققة قد زاد من تثبيت النيتروجين وحاصل جبوب الرز في تجارب أجريت في اصص (سدادين) بمقدار ٣٤ - ٤١ ٪ اعتماداً على الصنف المستعمل ومع ذلك فلا توجد فوائد من اللقاح بالطحالب الخضراء المزرققة في حقول الرز مقارنة مع المعاملة غير الملقحة . حيث أن كلاهما أعطى ٢٠ ٪ أقل من الحقول بالنيتروجين المضاف . ويبدو بوضوح أن هناك فائدة قليلة من تثبيت النيتروجين بالطحالب الخضراء المزرققة في الكساء الكثيف في حقول الرز الانتاجية . ومن المحتمل أن معدلات التثبيت المنخفضة هي نتيجة للتضليل وإيضاً قد تكون بسبب وجود المركبات الفينولية phenolic المتحررة من تحلل بقايا نباتات الرز . حيث وجد أن هذه المركبات تثبط نمو الطحالب الخضراء المزرققة (Rice 1980)

Anabaena cylindrica

إن زراعة خلايا طحالب *Anabaena* و *Nostoc* تباع الآن بشكل تجاري كلقاح لحقول المحاصيل المزروعة مثل الذرة الصفراء . وعند اعتبار أن هذه الأحياء متكافلة للنباتات المغورة في المناطق الاستوائية . فإن الادعاء بزيادة نيتروجين التربة وحاصل نباتات المحاصيل في بيئات المناطق المعتدلة من تلقيح الحقول باللقاح يبدو بأنه هذا الادعاء مبالغ به كثيراً .



- شكل (٦-٢) مقطع عرضي للعقدة الجذرية في البقوليات يبين الخلايا المصابة بالبكتيريود (B) .
والخلايا غير المصابة (U) . يكون حجم الخلايا المصابة كبيرة نسبياً . ويبين الشكل في الزاوية اليسرى
خلايا الإصابة Infecting bacterium (رايزوبيوم *Rhizobium*) والبكتيريود bacteroid .
ويزداد حجم البكتيريود داخل خلايا عبطه . إن فعالية انزيم التروجينيز تكون في البكتيريود .

الاحياء المكونة للعقد MODULATING

تعايشات النباتات البذرية والاكثينومايسيتات

Actinomycete-Angiosperm Associations.

وكالبقوليات . تنتج بعض النباتات البذرية عقد وتثبت النيتروجين تكافلياً في
تعايش مع بكتريا صغيرة من جنس *Frankia* تسمى *actinomycete* . إن
النباتات العائلة خشبية وهي أنواع غير بقولية . وتعتبر شجرة جار الماء (*Alnus*)
Alder افضل مثلاً معروفاً على ذلك . وقد لوحظ أكثر من ١٢ جنساً و ٣٣ نوعاً من
الـ *Alnus* بأنها تكون العقد الجذرية .

وتنشأ العقد الجذرية الحاوية على الاكتينومايسينات بتكوين انتفاخات جانبية
للجذر بعد اصابة الشعيرات الجذرية (Newcomb et al. 1978) . ونتيجة
لتكوين مرستيمات جديدة عند القاعدة تتفرع بغزارة او تنتج ما يشبه العنقيد .
ويكون لون البكتيريود *Bacteroids* في العقد وردي اللون . ويعتقد بأن سبب
وجود الانثوسيانين *anthocyanin* بدلاً من الهيموكلولين البقولي (Bond 1974)

leghemoglobin . لقد أوضح Bond وجود اختلاف بمقدار ١٠ - ١٥ مرة في النمو بين النباتات الملحقة ونباتات المقارنة لاشجار *Alnus* و *Myrica* .

وقد كون نبات *Trema cannabina* وهو غير بقولي عقداً عندما لقع بكتريا من جنس الرايزيوم المعزولة من اللوبيا وقول الصويا (Trinick 1976) وهي الملاحظة الاولى من نوعها في تثبيت النيتروجين بواسطة الرايزيوم في نوع غير بقولي .

ويبدو ان دور تعايشات الاكتينومايسينات والنباتات البذرية صغيراً في انتاج المعاصيل . ومن المحتمل انها مهمة في توازن النيتروجين في بعض الانظمة البيئية الطبيعية .

Leef Nodule Organisms. احياء عقد الورقة

لقد يسن Ruinen (1956) بان البكتريا الهوائية من انواع البيكارنكيا *Beijerinckia* spp تتواجد عادة على اسطح او على منطقة ماحول الورقة *phyllosphere* للنباتات الخضراء في المناطق الاستوائية الرطبة في اندونيسيا . وقد تم عزل هذا الجنس من ١٩٢ عينة من مجموع ١٩٨ عينة . ويظهر بان هذا النبات الهوائي *epiphyte* الذي ينمو على اسطح النباتات الترفية في المناطق الاستوائية الرطبة يساهم بشكل معنوي في توازن النيتروجين وخاصة في الترب ذات المحتوى المنخفض من النيتروجين . وقد لاحظ Bartholomew وآخرون (1953) (بعد Ruinen 1974)

بان كمية النيتروجين التي تراكمت في غابة في الكونغو كان ٩٥ كغم/هكتار سنة وذلك في السنتين الاولى من البور (ترك الارض بدون زراعة) و ١٢٩ كغم / هكتار / سنة في السنوات الثلاث اللاحقة ثم استقر عند ١٣ كغم / هكتار / سنة . وقد وجدت عدة نباتات هوائية مثل *Beijerinckia* و *Azotobacter* و *Mycoplana* في تعايشات تثبتت النيتروجين بواسطة احياء منطقة ماحول الورقة اضافة الى ان اشتراك الخمائر والفطريات يوفر عادة بيئة رطبة وتعد البيئة الاستوائية التالية ممتاز جداً لنمو احياء منطقة ماحول الورقة ، (١) سطح ورقة خضراء ١٠ - ٢٠ مرة بقدر سطح النباتات في المناطق المعتدلة . (٢) زيادة الانتاج الاولى بمقدار ٣ مرات (٣) امتصاص النيتروجين بمقدار ٣ - ١٠ مرات امتصاص نباتات المناطق المعتدلة

(Ruinen 1974) . وتوفر الاوراق الاسناد والماء والعناصر العضوية ومستويات منخفضة من النيتروجين غير العضوي . ويعترض الكساء الغضري الندى و ٨٠٪ من الامطار الخفيفة . لذا فان العناصر العضوية تنسل الى الاسفل الى طبقات الاوراق السفلية وتشجع بيئة منطقة ما حول الورقة *phyllosphere* . وتنسل احياء منطقة ما حول الورقة الى التربة ولكن يبدو انها لاتعيش هناك . ويساهم تثبيت النيتروجين بواسطة الاحياء المثبتة للنيتروجين على الاوراق معنوياً في توازن النيتروجين في الانظمة البيئية للغابات الاستوائية وبصورة غير مباشرة في الانظمة الزراعية التي تليها .

تعايشات الرايزوبيم والبقوليات

تأتي العائلة البقولية في الدرجة الثانية او الثالثة من حيث عدد الانواع من ضمن النباتات الزهرية . وهي منتشرة في جميع انحاء العالم وتساهم بدرجة كبيرة في سد حاجة الانسان من الغذاء والعلف والزيوت والاشخاب . وان عدداً كبيراً من الانواع العائدة لهذه العائلة تثبت النيتروجين تكافلياً . لنا فهي ذاتية التغذية *autotrophic* بالنسبة للنيتروجين وكذلك الكربون وتساهم بصورة كبيرة في توازن النيتروجين على سطح الكرة الارضية . وقد تطورت ونشأت اعداداً كبيرة من البقوليات العشبية في مناطق المناخ المعتدل خلال فترة تواجد الكالسيوم بكميات وافرة . وتعتبر هذه البقوليات وخاصة الرايزوبيم التي تعمل بالتعاون معها في تثبيت النيتروجين مقاومة جيداً الى مثل هذه الظروف . هنا وقد نشاء عدد كبير من انواع البقوليات الخشبية والعشبية في مناخ المناطق الاستوائية ذات الترب الحامضية المفسولة . وهي تنمو بصورة جيدة تحت هذه الظروف . ويتعايش العديد من هذه البقوليات مع الرايزوبيم من نوع اللوبيا .

ان كمية النيتروجين المثبتة تكافلياً تختلف كثيراً حسب نوع المحصول البقولي والصنف ونوع البكتريا والسلاطة وظروف النمو وخاصة حموضة التربة pH ومحتوياتها من النيتروجين . ولا يمكن اعطاء قيم ثابتة او حقيقة لكمية النيتروجين المثبت (Vincent 1974) بل يمكن اعطاء قيم تقديرية لعدد من المحاصيل كما هو مبين في جدول (٦ - ٢) . ومن الجدير بالملاحظة ان محصول البزاليا يثبت كمية من النيتروجين قد تصل الى ٥٠٠ كغم / هكتار / سنة . وهو محصول عشبي حولي . وتشير الارقام القياسية المسجلة لمحاصل فول الصويا والجب

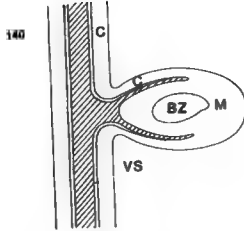
بأنها قد تثبت أكثر من ٥٠٠ كغم / هكتار نتروجين . وأن المشكلة مع اغلب هذه التقديرات هو تحديد مقدار النيتروجين الذي يحصل عليه النبات من التربة . ان كمية النيتروجين المثبتة في الموسم الواحد عبارة عن محصلة معدل التثبيت والزمن ويعطي اختبار معدل اختزال الاستيلين C_2H_4 مقياس لمعدل التثبيت في وقت معين . لكنه لا يقدر مدة التثبيت خلال الموسم وقلة او الكمية الكلية المثبتة في موسم النمو . ان تراكم النيتروجين في المادة الجافة للنبات في الموسم وقلة مساهمة التربة في ذلك يعطي تقديراً جيداً للنيتروجين خلال الموسم .

تكوين العقد NODULE FORMATION

بعد تكوين مستعمرات سلاسل البكتريا المناسبة بالقرب من جذور النبات البقولي تتكون عمليات الاصابة وتكوين العقد الجذرية كما يلي :

- ١ - تشويه الشعيرية الجذرية (حصول التواء curling او تفرع) ومن المحتمل ان هذا استجابة الى حامض اندول الخليك indoleacetic acid (IAA) والذي يتحفز انتاجه بالبكتريا . او قد يكون استجابة للاستيلين الذي يتحفز بحامض اندول الخليك IAA .
- ٢ . تكوين خيط الاصابة لنقل الخلايا البكتيرية الى القشرة الداخلية للجذور cortex
- ٣ . اطلاق البكتريا في خلايا القشرة الداخلية .
- ٤ . تكوين مرستيم العقدة وتوسع العقدة بانقسام خلايا القشرة الداخلية .
- ٥ . توسع او زيادة حجم خلايا القشرة الداخلية المصابة داخل العقد (شكل ٦ - ٢) .
- ٦ . تفقد العقد القديمة غلاف البكتيريود bacteroid (بكتيريا العقدة) وفعالية انزيم النتروجينيز nitrogenase عند حصول الشيخوخة .

ينتقل النظام الوعائي (شكل ٦ - ٣) السكريات والماء والعناصر المعدنية الى البكتيريود ويزيل او يأخذ النيتروجين المثبت كاحماض امينية ويوريدات (allantoin) ureides . وازافة الى هذه المفاهيم الغذائية فان العقدة تعمل على توفير بيئة ملائمة للبكتريا . وحماية انزيم النيتروجينيز من الاوكسجين .



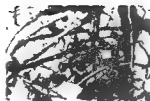
شكل (٦-٣) مقطع طولى لجذر وعقدة جذرية لنبات بقولي . (C) اللشرة حزمة وعالية (VS) . المرستيم (M) . ومنطقة البكتيريود فى العقدة (BZ) .

تشمل المكونات الاربعة الرئيسية لترتيب العقدة (شكل ٦-٣) على القشرة الداخلية والمرستيم والنظام الوعائى ومنطقة البكتيريود . ويختلف حجم وشكل العقد كثيراً اعتماداً على اصناف مرستيم النوع البقولى (شكل ٦-٤) . فبعضها مثل الجت والبيزاليا تكون مرستيمات عقدها الجذرية نهائية وغير محددة . وتمطي عقد مستطيلة الشكل . اما المرستيمات التي تكون نهائية ومحددة فتكون عقدها كروية الشكل وذات استطالة محددة، كما في الصويا وفستق الحقل ونفل خف الطير. تكون عقد بعض الأنواع مثل الفاصوليا المخملية، velvet bean مرستيم نهائى والذي ينتج تفرعات واشكال غير منتظمة (شكل ٦-٤) . ويدل تكوين عقد جذرية اصغر من الحجم الاعتيادي على ان سلالة الرايزوبيم غير فعالة . وان العقد المتكونة من سلالات غير فعالة قد تكون خالية من الهيموكلوبين البقولى .

تكون خلايا القشرة الداخلية المصابة اكبر بكثير من الخلايا الصغيرة غير المصابة التي تكون مختلفة معها (شكل ٦-٧) . ويحاط البكتيريود في الخلايا المصابة باغشية اصلها نباتي (Tu 1974) . هذا وتصاب تقريباً جميع خلايا العقد في اللوبيا وفستق الحقل مقارنة مع ٥٠ ٪ اقل في عقد فاصوليا الحدائق (Vincent 1974) . ويظهر ان رايزوبيم نوع اللوبيا مستوطن في المناطق الاستوائية وذو فعالية عالية من انزيم النيتروجين .



Mungbean



Pigeonpea



Showy Crotalaria



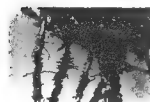
Crotalaria sp.
PI 436527-1



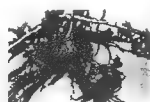
Crotalaria sp.
PI 436527-2



Hairy Indigo



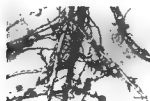
Joint Vetch



Velvetbean
1



Velvetbean
2



Soybean



Alyceclover

شكل (١ - ٤) العقد الجذرية في عدد من الانواع البقولية .

مجاميع التلقيح الخطي : Cross-Inoculation Groups

يمكن تقسيم البقوليات الى مجاميع اعتماداً على تخصص انواع الرايزوبيم (Fred et. al. 1932). على سبيل المثال تلتح *R. leguminosarum* البراليا *(Pisum) Pea* والكشون *(vicia) vetch* (جدول ٦-٣). بينما تلتح *R. meliloti* لكل من الجت والبرسيم الحلو والعديد من البقوليات الاخرى.

جدول (٦-٢) مجاميع خلطية التلقيح لانواع البقوليات .

المائل	نوع الرايزوبيم	بعض البقوليات في المجاميع خلطية التلقيح	ملاحظات
البازلاء	<i>leguminosarum</i>	البازلاء <i>Pisum</i> sp. الباقلاء <i>Vicia</i> sp.	
النفل	<i>trifolii</i>	بازلاء الزهور <i>Lathyrus</i> sp. النفل الابيض <i>Trifolium repens</i> النفل الاحمر <i>T. pratense</i> النفل القرمزي <i>T. incarnatum</i> النفل الارضي <i>T. subterraneum</i>	ربما غير فعالة على اجناس في المناطق الاستوائية
الفاصوليا	<i>phaseoli</i>	الفاصوليا <i>Phaseolus vulgaris</i>	
الجت	<i>meliloti</i>	الجت <i>Medicago sativa</i> الكرط الاسود <i>M. lupulina</i> النفل الحلو <i>Melilotis</i> sp. فول الصويا <i>Glycine max</i>	متخصصة على فول الصويا غير فعالة على
الترمس	<i>lupini</i>	الترمس <i>Lupine</i> sp.	
اللوبيا	غير معروفة	اللوبيا <i>Vigna sinensis</i> فستق الحقل <i>Arachis hypogaea</i>	

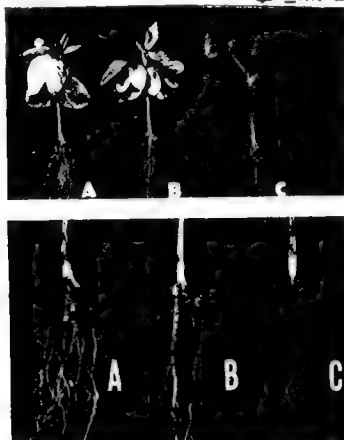
ومن جهة اخرى نجد ان *R. japonicum* متخصصة على فول الصويا .
والبكتريا التي تصيب نقل خف الطير متخصصة على هذا العائل فقط .

ويؤدي التقسيم على اساس المجاميع الى حصول مشاكل بسبب الاختلافات
الكبيرة في التخصص ضمن سلالات بكتريا النوع الواحد فقد تكون السلالة فعالة
على احد البقوليات وغير فعالة على بقوليات اخرى ومن نفس المجموعة .

سلالات الرايزوبيوم *Rhizobium* STRAINS.

تختلف الرايزوبيوم كثيراً في تخصصها حسب النوع البقولي وطبيعة تكوين العقد
في الصنف وفعالية انزيم النيتروجين . وقد تختلف بعض السلالات في تثبيت
النيتروجين حتى بين الاصناف من نفس النوع (شكل ٦ - ٥) . وقد وجد

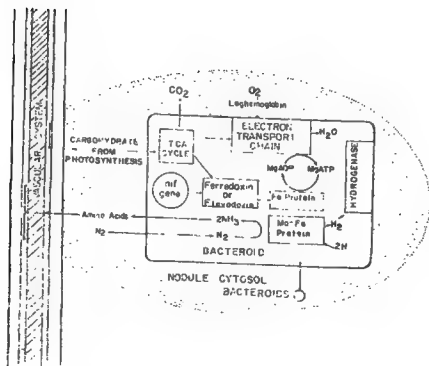
Vincent سنة ١٩٧٤



شكل (٦ - ٥) مقارنة نمو صنف فول الصويا 'Hardee' الملقح (A) بسلالة (٢٤ - ٢٣ - ٢٤) (B) سلالة
(٢٢) (C) سلالة فعالة في تثبيت النيتروجين .

عند دراسته ٢٤ سلالة من نوع البزاليا (*R. leguminosarum*) ان سلالة واحدة فقط كانت موافقة لانواع البقوليات السبعة العائدة لمجموعة البزاليا . ويمكن تفسير عدم فعالية السلالة الى قلة اصابة الجذور أو انخفاض فعالية انزيم النيتروجينيز او انخفاض الكفاءة .

نظريا قد تكون بعض سلالات *R. japonicum* أكثر كفاءة من الاخرى بسبب قدرتها على اعادة توليد الهيدروجين H_2 بانزيم النيتروجينيز لتوليد ATP . وان الالكترونات التي لا تدخل الدورة مرة اخرى تنتج الهيدروجين بدلا من اختزال النيتروجين الى امونيا NH_3 . وهو الناتج المرغوب . وتكون السلالات القادرة على استخدام الهيدروجين المطلق كمصدر للطاقة ذات كلفة اقل في تثبيت النيتروجين من حيث استخدام الـ ATP (شكل ٦ - ٦) ان فقد الهيدروجين عبارة عن فقد الطاقة في النظام البيولوجي ; (Schubert and Evans 1976) .



شكل (٦ - ٦) مخطط يبين تثبيت النيتروجين في بكتيريود المقعدة الجذرية . ويوضح العلاقة بين انزيم النيتروجينيز nitrogenase والهيدروجينيز hydrogenase (From Emerich and Evans 1980)

التلقيح البكتيري

يمكن ان تفقد اعداداً كبيرة من الرايزوبيم بسبب حموضة التربة كما هو الحال مع *R. meliloti* في الترب الحامضية واحياناً ليس لها أي وجود في التربة. والفرض من معاملة البذور أو التربة باللقاح البكتيري هو لتوفر مجتمع كافٍ من سلالات الرايزوبيم الفعالة لتكوين المستعمرات البكتيرية ولإصابة جذور البقوليات. ومن المفترض ان يحوي اللقاح البكتيري على سلالات منتجة من البكتريا الحية. وإذا وجدت رايزوبيم معينة بشكل مستوطن وباعداد كبيرة في التربة في منطقة معينة فقد تقضي على السلالات الجديدة أو السلالات المحسنة. ويمكن تحسين النتائج احياناً بإضافة جرعات كبيرة من اللقاح الحبيبي على خطوط. هذا ولم يؤدي زيادة اضافة اللقاح البكتيري بمقدار ٥ % من السلالات في العقد الجذرية لغول الصويا (Johnson et. al. 1965).

ان تمييز العقد الجذرية بالسلالات معقد ويرتبط بالتركيب الوراثي للعائل والبكتريا والظروف البيئية. وقد يعزى سبب فشل الإصابة الى نقص في (١) مستعمرات الجذور. (٢) مهاجمة الشعيرات الجذرية ١ و (٣) تكوين العقد الجذرية. يزداد مجتمع السلالة التي تكون عقداً جذرية بصورة فعالة في العائل البقولي وتصبح هي السلالة السائدة في التعايشات المتعاقبة.

ان الحاجة الى معاملة البذور باللقاح البكتيري ضروري انا كانت الرايزوبيم غير متواجدة في التربة او قليلة ومتفرعة أو غير فعالة. وفي مثل هذه الحالات يمكن لمعاملة البذور باللقاح توفير وتثبيت مجتمع من السلالات الفعالة المكونة للعقد الجذرية للنباتات البقولية. على سبيل المثال. ان اضافة الكلس واللقاح البكتيري مفيد جداً في الترب الحامضية لمحصولي الجوت والبرسيم الحلو في منطقة روثنامستند Rothamsted, في انكلترا. وقد ادى اضافة الكلس واللقاح البكتيري الى تربة حامضية pH (٤.٨ - ٥.٧) الى زيادة حاصل العلف الاخضر لمحصول الكرط الاسود *Medicago lupulina* بمقدار سبعة أو ثمانية اضعاف. (Nutman 1962). وكان تأثير اضافة اللقاح البكتيري واضحاً وخاصة في السنة الاولى على المحصول البقولي. وذلك بسبب عدم وجود مجتمع كافٍ من البكتيريا المستوطنة indigenious bacteria التي تصيب الجذور وتكون العقد. ويعتبر تأثير المعاملة باللقاح اقل وضوحاً بمرور الزمن وذلك بسبب زيادة اعداد البكتيريا في التربة.

لقد تحسنت طرق المعاملة باللقاح البكتيري بمرور الوقت ، وذلك من طريق نقل التربة من الحقول المزروعة بالمحصول سابقاً الى الحقول الجديدة المراد زراعتها ، الى الطرق التجارية الحديثة في تحضير سلالات الرايزوبيم المحسنة ، والتي تكون على شكل مزارع على شكل سائل رقيق *brothcultured* وتحفظ للاستعمال كمسحوق حبيبي ناعم . ويمكن خزن مزارع الخث *peat culture* عدة اشهر تحت ظروف باردة . ويمكن اضافتها بصورة فعالة كسائل رقيق القوام *Slurry* الى البنور او كحبيبات *granules* عند البذار ولكن يجب عدم اضافتها مباشرة الى البنور التي قد عولمت بالمبيدات الفطرية *fungicides* . ويجب اضافة مادة لاصقة مثل السكر الى اللقاح المضاف للبنور كسائل رقيق القوام . ويحسن اضافة الكلس (CaCO_3 , MgCO_3) الى اللقاح المصنع على شكل جبات او كرات صغيرة *pellets* المحافظة على ابقاء الرايزوبيم حية في بداية المعاملة وخاصة انواع الرايزوبيم ذات الحاجة العالية الى الكلس مثل (*R. meliloti*) . ويسمى تلقيح البنور قبل الزراعة بفترة معينة *Preinoculation* وهي طريقة اقل كفاءة مقارنة مع طريقة اضافة اللقاح كسائل رقيق القوام وان احتمال بقاء الرايزوبيم حية عند تلقيح البنور اقل من اضافتها كسائل بسبب تعرض الاولى الى الحرارة والجفاف . واحتماله تعرضها ايضاً الى مواد سامة في اغلفة البنور (مثل الفينولات) ومبيدات الحشرات وخاصة المعادن الثقيلة والاسمدة (الاملاح) .

بقاء الرايزوبيم حية في التربة . SURVIVAL OF RHIZOBIA IN SOIL.

يعتمد بقاء الرايزوبيا حية في الطبيعة بالدرجة الرئيسية على صفات التربة وخاصة حموضة التربة والرطوبة والمادة العضوية وطول الفترة بين المحصول والمائل . ان التربة الرملية الخشنة تجف بسرعة وتفقد الرايزوبيا المستوطنة . بينما في الترب الحامضية تفقد الرايزوبيا بسبب حاجتها الى pH اعلى .

وقد لاحظ *Elkins* وآخرون (1976) في دراسة اجريت على تربة في جنوب ولاية الينوير *Illinois* وجود اعداد كافية من بكتريا *R. japonicum* لتكوين العقد الجذرية على نباتات فول الصويا بعد مرور عشرة سنوات على الاقل من الزراعة المستمرة لمحصول النرة الصفراء وبدون زراعة فول الصويا خلال تلك الفترة . لقد تم تحضير محاصيل من ترب تاريخ نظامها الزراعي مختلف يتراوح من صفر الى احدى عشر سنة بين زراعة فول الصويا . واستعملت هذه المحاليل لتلقيح

بادرات مزروعة في اصص تحوي على تربة رملية معقمة . وظهرت النتائج عدم وجود فروقات في نمو فول الصويا ووزن العقد وفعالية انزيم النيتروجينز يمكن ان تعزى الى تاريخ النظام الزراعة وكانت السلالات السائدة هي ١٢٥ . ١٢٦ . ١٢٣ سواء استعمل اللقاح البكتري او لم يستعمل هذا وقد شملت الدراسة على حقول لم تزرع بفول الصويا مسبقاً . عندما تكون نباتات محصول العائل غير متواجدة في الحقل فان الرايزوبيا تعيش غير ذاتية التغذية (متباينة التغذية) . هنا وان بقاء البكتريا حية في قرب ولاية النيويز يكون اعلى من بعض المناطق الاخرى بسبب الظروف المناخية وظروف التربة الملائمة بشكل عام .

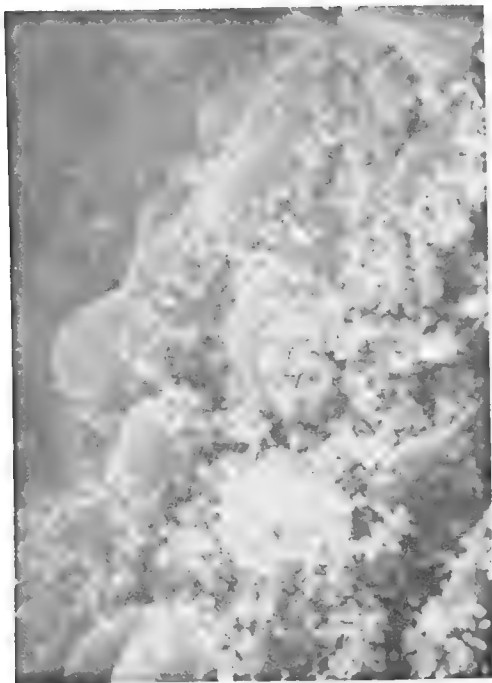
درس Vest و Caldwell سنة ١٩٧٠ (٢٨) سلالة ونوعين من اللقاح المحضر تجارياً من بكتريا *R. japonicum* على خمسة اصناف من فول الصويا . فوجدوا فرق معنوي في حاصل البنور في ثلاث ترب كانت خالية من الرايزوبيوم . اما في الترب الحاوية على *R. japonicum* فلم تكن هناك فروقات معنوية في حاصل البنور نتيجة المعاملة باللقاح . وكان فقط ٥ - ١٠ ٪ من العقد المتكونة ناتجة من اللقاح المضاف الى البنور . هذا ولم تحصل اية فوائد من زيادة معدل اللقاح ٢٥ مرة أكثر من المعدل الموصى به او من زيادة التصاقها مع البنور بالصمغ العربي .

RHIZOSPHERE FIXATION IN GRASSES

تثبيت النيتروجين في منطقة جذور الحشائش

ان نقص الفناء في العالم وزيادة احتياجات النيتروجين لانتاج الفناء والعلف ادى الى رغبة ملحة في احتمال امكانية تثبيت النيتروجين في نباتات الحشائش . ان انتاج الحبوب التي تجهز ٧٥ ٪ أو أكثر من السعرات والبروتين للانسان يعتمد على المستويات العالية من النيتروجين التي تجهز اساساً من الاسمدة التجارية في الدول المتقدمة الا ان الاسمدة النيتروجينية اصبحت مكلفة الانتاج حيث تحتاج الى طاقة بترويلة عالية لانتاجها . وعادة تكون الاسمدة التجارية غير متوفرة في الدول النامية . لذا فان هدف العلماء البعيد في الوقت الحاضر هو نقل جين *nif* أو قابلية تثبيت النيتروجين الى محاصيل الحبوب ومحاصيل الحشائش العلفية . وقبل تحقيق هذا الهدف يجب تخطي صعوبات كثيرة تقف امام هذا التقدم العلمي الكبير .

يعد اكتشاف تكوين بعض انواع البكتريا من عائلة Azotobacteraceae مستعمرات وتمايشات قليلة أو ضعيفة مع جذور الحشائش (شكل ٦ - ٧) وتثبيت



شكل (٦ - ٧) صورة مكبرة لستعمرة بكتريا على جدار غرفة البيضاء

النيتروجين في منطقة الجذور *rhizosphere* تحت ظروف ملائمة (Dobereiner and Day 1976; Neyra and Dobereiner 1977) يعد خطوة متقدمة نحو الوصول الى الهدف. لقد تم عزل بكتريا *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter paspali*, *Beijerinckia* spp, *Spirillum lipoferum* من تعايشات منطقة الجذور في حشائش رباعية الكربون في المنطقة الاستوائية. ويفترض في ظروف البيئة ذات الاضاءة الجيدة ان تقوم نباتات رباعية الكربون (بسبب معدلات التمثيل الضوئي العالية مقارنة مع نباتات ثلاثية الكربون) بتوفير مركبات كاربوهيدراتية الى منطقة الجذور لتوفير الطاقة اللازمة لتثبيت النيتروجين .

يعد التعايش بين حشيش *Paspalum notatum* (bahiagrass) وبكتريا *A. paspali* اول تعايش يدرس بصورة تفصيلية بين الحشائش وبكتريا منطقة الجذور (Neyra and Dobereiner 1977) ووجدوا من بين ٣٣ صنف او تركيب وراثي خمسة منها فقط وكان جميعها رباعية الكروموسومات, tetraploids, قد كونت تعايشات منطقة الجذور مع *A. paspali* . وقد يتطلب بضعة شهور الى تثبيت او ترسيخ مجتمع كبير من البكتريا. وفي هذه الحالة لم تتأثر باللقاح البكتيري . وعند نقل النباتات من الحقل الى اصص (سنادين) واستعمال محلول غذائي لا يحوي على عنصر النيتروجين استطاعت هذه النباتات ان تثبت ٨٠ ملغم نيتروجين بالاص في فترة شهرين وهي كافية لنمو طبيعي للنبات . وقد تبين بان فطريات الجذور *Mycorrhiza* تشجع تثبيت هذه العلاقات او التعايشات بين الحشائش ومنطقة الجذور . وقد وجد بان البكتريا تتركز في طبقة الـ *mucigel* في الجذور . يتراوح معدل تثبيت النيتروجين من ٠.١ الى ٠.٣ كغم / هكتار / يوم تم قياسها بطريقة اختزال C_2H_2 وطريقة تخفيف النيتروجين المشع ^{15}N dilution . ان هذه المعدلات من تثبيت النيتروجين تعطي او تنتج ما مقداره ٥٠ - ٧٥ كغم / هكتار وهي كمية كافية لانتاج حاصل متوسط لحشيش *bahiagrass* . ان هذه المعدلات المسجلة من قبل Dobereiner و Neyra كانت من جنور مقطوعة أو مزالة من النباتات ثم وضعت في الحاضنة . الا ان القياس التي اجريت على نبات الحنطة وهو من نباتات ثلاثية الكربون . في ولاية اوريكان Oregon في الولايات المتحدة قد اظهرت فعالية قليلة حيث كان معدل التثبيت ٢ غم / هكتار / يوم (Neyra and Dobereiner 1977) . او ليس اكثر من ١ كغم / هكتار في الموسم . ويجب ملاحظة ان هؤلاء الباحثين قد وضعوا النباتات في حاضنة قبل

اجراء قياس الاستيلين C_2H_2 من الجنور المزالة او المستخلصة من النباتات . وهي طريقة معروفة بانها تعطي معدلات اعلى بكثير للنتروجين المثبت من النتروجين الكلي الموجود في الكتلة الحيوية biomass .

لقد وجد بان الهجين والسلالات النقية للدخن (نبات رباعي الكربون) تقوم بتثبيت النتروجين بعد تلقيحها بـ *Azospirillum brasilense* سلالة Sp 13T (Bouton et al 1979) وقد ادى المعاملة باللقاح البكتيري زيادة حاصل المادة الجافة ومحتوى النتروجين الكلي لنبات الدخن اللؤلؤي pearl millet الهجين 'Gahi 3' اكثر من ٣٠٪ ولكن لم يلاحظ زيادة في تثبيت النتروجين عندما قيست بطريقة اختزال الاستيلين C_2H_2 .

لاحظ Albrecht وآخرون (1981b) : فعالية انزيم النتروجينيز لبكتريا *A. brasilense* على جنور الذرة الصفراء عند قياسها باختزال الاستيلين . وقد ادى اضافة اللقاح البكتيري الى زيادة وزن النبات ومحتوى النتروجين في حوالي ٥٠٪ من نباتات الحقل الملقحة . وقد قدرت كمية النتروجين المثبتة ببكتريا النبات *A. brasilense* حوالي ١٥ كغم / هكتار . الا ان الفائدة كانت غير ثابتة من ناحية حاصل النبات ومحتواه من النتروجين .

انتج حشيش (*Digitaria spp.*) Digitgrass وهو من نباتات رباعية الكربون المزروعة في تربة نيتروجين منخفض في استراليا ٢٣٪ مادة جافة اكثر وحاصل النتروجين اكثر بالنبات عندما لقحت النباتات ببكتريا *A. brasilense* . اما اضافة اللقاح في ترب ذات محتوى نيتروجيني عالي فكانت الزيادة ٨,٥٪ فقط (Schank et al, 1981) .

واظهرت الذرة الصفراء والدخن استجابة جيدة للمعاملة باللقاح البكتيري المعسن *A. brasilense* سلالات Sp 7, 80 CO Sp عندما كانت التربة منخفضة في محتواها النيتروجيني (Cohen et al. 1980) (جدول ٦ - ٤) . وقد ادى اللقاح البكتيري الى زيادة وزن المرانيس . كما ادى المعاملة باللقاح الى زيادة تفرعات الجنور . وقد يكون هذا بسبب انتاج هرموني بكتريا *Azospirillum* بدلا من تثبيت النتروجين . وقد يكون لزيادة تفرع الجنور خلال مرحلة التزهير فوائده وخاصة في امتصاص العناصر الغذائية وتوفيرها الى الثمار . ويبدو ان هذا التأثير مشابهة الى تلك المنتجة بالجنور الفطرية mycorrhiza . وكان مقدار الاستجابة في هذه التجربة كبير ومدش ولا يشابه نتائج اية دراسة اخرى وربما

جدول (٦ - ١) تأثير تلقيح نباتات *Seteria italica* ببكتيريا *Azospirillum brasilense* على حاصل المادة الجافة ومحتوى النيتروجين

التربة	الوزن الجاف (%)		النيتروجين (%)	
	ملقحة	مقارنة	ملقحة	مقارنة
رملية	١٨٠	١٠٠	٢٥٠	١٠٠
رملية مزيجية	١٧٥	١٠٠	١٩٥	١٠٠
الطينية	١٢٥	١٠٠	١٤٠	١٠٠

المصدر Cohen et al. 1980

يكون للظروف الاستثنائية في فلسطين المحتلة (مثل انخفاض محتوى النيتروجين في التربة . ومحتواها العالي من الكلس ودرجات الحرارة العالية والاشعاع العالي) .

ان نظرية انتاج الهرمون المقترحة سابقاً ببكتيريا *A. brasilense* قد اكدتها ابحاث قام بها Tien وآخرون سنة ١٩٧٩ . حيث ازداد محتوى حامض اندول الخليك اربعة مرات في المحلول الزراعي في مدة اسبوعين وازداد السايوكاينين وكذلك وجد الجبريلين في المحلول (منظم نمو ثالث. انظر الفصل السابع). اظهرت جذور الدخن اللولوي pearl millet . زيادة نمو ملحوظة في محلول غثائي خالي من بكتريا *A. brasilense* . واصبحت الجذور الجانبية مغطاة بالشعيرات الجذرية بصورة كثيفة وذات تفرعات كثيرة .

ان الملاحظات بان بكتيريا *A. brasilense* واحتمال تعايشات منطقة الجذور تنتج هرمونات تؤدي الى زيادة انتشار الجذور قد ترك سؤالاً بلا اجابة . وهو هل ان الفوائد التي يحصل عليها النبات ناجمة من التعايش من تثبيت النيتروجين او من زيادة انتشار وتغلغل الجذور المؤدية الى زيادة امتصاص العناصر الغذائية. وتؤكد بعض الدراسات الحديثة بأن تأثير الهرمون قد يكون هو المحفز الرئيسي .

ان الملاحظات الطويلة والخبرة في مراعي الحشائش في المناطق الاستوائية جعل الكثير يعتقد بأن التعايش في بيئة الجذور يساهم في توازن النيتروجين في تلك المراعي مع ذلك يتطلب اجراء ابحاث عديدة قبل توفير قياس جيد وخاصة قبل انتاج محاصيل الحبوب الملحقة ونتائج ثابتة وكفؤة في تثبيت النيتروجين لتصبح عملية تطبيقية في الانتاج الزراعي .

العوامل الوراثية

ينظم اختزال النيتروجين الحوي الى امونيا (تثبيت النيتروجين) بانزيم النيتروجيناز nitrogenase لاي مجتمع او تعايش . حيث ينظم انتاج انزيم النيتروجيناز بواسطة جين *nif* وهو يقع على كروموسوم قريب من جين *his* الذي ينظم تمثيل الهستيدين histidine (Dixon and Postgate 1972) .
لأثبت مستخلص انزيم النيتروجيناز النقي النيتروجين لذا يمكن الافتراض بأن هناك اكثر من جين للبكتريا والنبات العائل تشترك في العملية الكلية للتثبيت .

ينظم جين *gln* تمثيل الكلوتامين glutamine الذي يسمح باستخدام مباشر للامونيوم بدلاً من الكوتاميت glutamate, Shanmugan et al. (1978).
هنا وان الامونيا تثبط عمل جين *nif* . لقد تم تشخيص بعض طفرات سلاسل الرايزوبيم القادرة على هذا التثبيط . اي ان هذه السلاسل تستطيع تثبيت النيتروجين رغم وجود الامونيا .

ان حقيقة نقل جين *nif* بنجاح من البكتيريا المثبتة للنيتروجين *Klebsiella pneumoniae* الى بكتريا *Escherichia coli* وجعلها قادرة على تثبيت النيتروجين وتأكيداً على وجود الجين . وقد شخّصت سلالات غير فعالة في تثبيت النيتروجين (Brill 1974) . وقد وجد ان عدم فعالية سلالات *R. trifolii* على البرسيم الاحمر ينظم ببجينين (Nutman 1968) . اما فعالية اصناف البرسيم الاحمر كنباتات عائلة للبكتريا وهي نتيجة اربعة جينات . وان جيناً واحداً ينظم عدم تكوين العقد في فول الصويا غير المكونة للعقد الجذرية (Caldwell et al. 1966) (شكل ٦-٥) .

وهناك عدد كبير من العوامل الوراثية الاساسية الشائعة في الاحياء المثبتة للنيتروجين .

١. معقد انزيم النيتروجينز Nitrogenase enzyme complex

يحتوي معقد انزيم النيتروجينز على نوعين من البروتين : بروتين الحديد Fe protein ، وهو الاصفر ، ذو وزن جزيئي ٥٠.٠٠٠ - ٧٠.٠٠٠ و بروتين الموليبدنيم - الحديد Mo-Fe protein (شكل ٦-٦) .

ويعتقد بأن النيتروجين يرتبط أولاً ببروتين الموليبدنيم - الحديد عند اختزال الى امونيا ، وان MgATP يرتبط ببروتين الحديد . وقد تم عزل انزيم النيتروجينز بصورة نقية (Carnahan et al. 1960)

ولا يستطيع معقد انزيم تثبيت النيتروجين في المختبر مالم تتوفر متطلبات عديدة مهمة . وان الاوكسجين يشبط عمل مكونات انزيم النيتروجينز لذا يجب تنظيم مستوى الاوكسجين القريب من النيتروجينز بصورة دقيقة (Albrecht and Gaskins 1982) .

٢. المختزلات

يعد تحويل N_2 الى N_2^- عملية اختزال تتطلب وجود الالكترونات . ويعتقد بأن الالكترونات المعطى هو بايريدين نيوكلييات pyridine nucleotides (ATP and NADPH) تختزل خلال الفيروكسين او الفلافودوكسين (Benemann and Valentine 1972)

وقد استخدمت بكتريا *C. pasteurianum* البيروفيت بكميات كبيرة لتوليد الالكترونات لاختزال الفيروكسين حيث تعطي كل جزيئة بيروفيت الكترولين $2e^-$ (Mortenson 1964) . وفي نظام الخلايا الحرة استعملت مادة $Na_2S_2O_4$ لاعطاء الالكترونات مباشرة الى النظام .

٣. صبغة الهيموكلوبين البقولي Leghemoglobin في عقد البقوليات .

يتواجد الهيموكلوبين البقولي في انسجة عقد البقوليات ولا يتواجد في انظمة تثبيت النيتروجين الاخرى . وقد بينت الدراسات التي قام بها Virtanen وآخرون (1949) بأن هذه الصبغة توجد في بعض الطحالب والخمائر ولا توجد في النباتات الراقية . لقد كان الاعتقاد السائد في السابق بأن صبغة الهيموكلوبين البقولي في العقد الجنرية تتواجد في انسجة العقد بدلاً من البكتريود . الا ان المؤشرات الحديثة تؤكد وجوده داخل غلاف البكتريود المشتقة من خلايا العائل

(Bergersen 1971) . ان خلايا العائل الحاوية على البكتريود تكون اكبر حجماً من الخلايا غير المصابة (شكل ٦ - ٢) .

وتوجد علاقة ارتباط عالية بين فعالية انزيم النيتروجينيز وتثبيت النيتروجين في البقوليات مع محتوى الهيموكلوئين البقولي (صبغة وردية الى الحمراء) . اما اذا كان لون الصبغة اصفر الى جوزي فهذا يشير الى الشيخوخة senescence او اختلال وظيفة البكتريود . وعادة يكون بسبب الظروف غير الملائمة . وتدل العقد ذات اللون الابيض او الاخضر عادة على عدم كفاءة فعالية انزيم النيتروجينيز . ان الاهمية الفسيولوجية لصبغة الهيموكلوئين البقولي غير مفهومة تماماً الا ان العقدة ربما تحتاجها في نقل الاوكسجين لتجهيز تنفس العقدة وانتاج ال ATP . ويمكن الاستدلال على حالة تثبيت النيتروجين بالمحصول البقولي من اخذ عينات وقياس عدد حجم العقد الجذرية (كتلة العقد) ولونها .

٤ . مركب ال ATP .

يعتبر هنا البيريدن النيوكلوتايد ضروري لان المركبات الاخرى لا تحل محله وان العامل المساعد له هو مركب MgATP وعادة يعتبر ٢٠ الى ٣٠ مول ATP ضروري لتحويل مول واحد من N_2 الى NH_3 ثم الى حامض الكلوتاميك glutamic acid (شكل ٦ - ٦) . وبعد ذلك تتكون الاحماض الامينية الاخرى من تحويل حامض الكلوتاميك . وعادة يتطلب ستة الكترونات لتحويل جزيئة واحدة من النيتروجين الى جزيئتين امونيا NH_3 . ويعد معدل التمثيل الضوئي العالي او مصدر اخر الكربون ضروري لتجهيز المواد الضرورية للاكسدة وال ATP من التنفس .

٥ . الوقاية من الاوكسجين .

بينما يحتاج تكوين العقد الجذرية واغلب الاحياء المثبتة للنيتروجين الى الاوكسجين . فهو يعد مثبطاً لفعالية انزيم النيتروجينيز (Bond 1951) . فهو يحجب مناطق ارتباط النيتروجين و MgATP على بروتين الموليبدنم - الحديد و بروتين الحديد على التوالي (Albrecht and Gaskins 1982) . وفي بعض الاحياء يكون تثبيت النيتروجين على اقضاء عند جهد اوكسجين منخفض (٠.٢ - ٠.٨ ضغط عالي) الا ان وجود الاوكسجين يشبط جين *nif* بصورة كاملة في بكتيريا *C. pasteurianum* . كما وان بعض المركبات الاخرى علاوة على الاوكسجين مثل

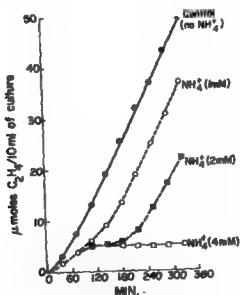
الهيدروجين واوكسيد الكربون CO واوكسيد النيتروجين* تثبط مستويات الاوكسجين القريبة من تراكيز الاوكسجين في الهواء الجوي فعالية انزيم النيتروجينز (Ljones 1974) . ويعتقد بأن غلاف البكتريود يعمل على منع دخول الاوكسجين (شكل ٦ - ٢) .

العوامل البيئية ENVIRONMENTAL FACTORS

تؤثر العوامل البيئية التالية على تثبيت النيتروجين :

١ - نسبة الكربون الى النيتروجين .

تؤثر زيادة كمية النيتروجين الى الكربون في التربة او الوسط على عمل جين *nif* وبذلك يقلل تكوين العقد و / او فعالية انزيم النيتروجينز (شكل ٦ - ٨) . يبط وجود النيتروجين المتيسر في التربة تكوين العقد وتثبيت النيتروجين في البقوليات (Fred et al. 1932) . بينما تؤدي الامونيا الى خفض تثبيت النيتروجين بدرجة كبيرة في البقوليات . فانها تثبط تثبيته بصورة كاملة في الاحياء حرة المعيشة (Brill 1980) .



شكل (٦ - ٨) فعالية انزيم النيتروجينز المقننة على اساس اختزال C_2H_4 بتراكيز مختلفة من ال NH_4^+ كلستات الامونيوم في الوسط Quispe 1974 .

يعتمد التأثير السليم للنيتروجين المتيسر الى حد ما على النوع المثبت للنيتروجين وعلى العوامل البيئية . وقد وجد بان النيتروجين الجاهز بكميات متوسطة ذو فائدة في تثبيت او ترسيخ بعض البقوليات . ومع ذلك فان الفوائد الفعلية او العملية من تسميد البقوليات بالنيتروجين عادة صغيرة او معدومة . على سبيل المثال ، حصل Hinson (1975) على وزن مادة جافة للجزء العلوي للنبات والجنور اكثر معنوياً من المعاملات المسمدة بالنيتروجين لفول الصويا المزروعة في اصص (سنادين) الا ان عدد العقد وزنها قد انخفض . وفي التجارب الحقلية ، كان النمو الغضري اكثر من المعاملات المسمدة بالنيتروجين . الا انه لم يحصل تأثير على الحاصل . ومع ذلك فقد وجد زيادة في حاصل البنور من اضافة النيتروجين الى اللوبيا والبزاليا (Mahon and Child 1979; Minchin et al. 1981) . وعموماً فان الفاصوليا لاتشابه اغلب البقوليات لانها لاتستجيب الى السماد النيتروجيني اذا كان محتوى التربة من النيتروجين منخفض .

٢ - العناصر المعدنية

المتطلبات المعدنية للحياة المثبتة ضرورية كضرورتها للنباتات الاخرى . ويجب الانتباه والعناية بالتربة الفقيرة او ذات المحتوى القليل من الموليبدنم والحديد والكبريت بسبب ان هذه العناصر مكونات لانزيم النيتروجينز . كما ان فعالية انزيم النيتروجينز تستجيب الى العناصر الكبرى الاخرى . فقد وجد Lynd واخرون (1981) بان نمو العقد وفعالية انزيم النيتروجينز والانزيمات المساعدة للنيتروجين (مثل glutamate synthetase او GOGAT) في الكشوف الزغبى hairy vetch ازدادت معنوياً باضافة السماد البوتاسي (جدول ٦ - ٥) . كما يستجيب نمو البقوليات وتثبيت النيتروجين الى الفسفور . وقد لوحظ بان النحاس ضروري لتكوين العقد الجذرية ربما بسبب دوره في نظام السايوكروم والتنفس التاكسدي (Cartwright and Hallsworth 1970) . وعموماً فان تعاضات الازوتيم والبقوليات حساسة للـ pH المنخفض وخاصة البقوليات المتأقلمة للمناطق المعتدلة .

جدول (٦ - ٥) تأثير البوتاسيوم (K) والكالسيوم (Ca) على نمو وثثبات النيتروجين في الكشوف الزغبى .

السماد*				
الصفات المقاسة	مفر	K	Ca	K + Ca
الوزن الجاف (غم / نبات)	١,٧٨	١,٨٥	١,٩١	١,٣٨
الوزن الطري للعقد الجذرية (ملغم / نبات)	٥٥٢	٧٤٥	٦٧٨	٩٢٩
فعالية النيتروجينيز (مايكرومول / ساعة)	٣٢,٥	٣٢,٥	٢٠,٩	٣٦,١
فعالية انزيمات المدة (مايكروغرام / غم / المدة)	٣٣٦١	٥١٥٤	٢٥٩٣	٥٢٠٨

المصدر 1981 Lynd et al.

■ مستوى المغفور في التربة عالى

٢ - مبيدات الفطريات Pesticides

يؤدي معاملة البذور بالمبيدات وخاصة مبيدات الفطريات الزئبقية الى تقليل عدد الاحياء المثبتة للنيتروجين وعدد العقد الجذرية (Vincent 1974) .

٤ - العوامل الجوية .

تقلل الحرارة والجفاف مجتمع البكتريا والنيتروجين المثبت (جدول ٦ - ٢) . ادت درجة الحرارة المنخفضة (٥ م) الى تقليل تثبيت النيتروجين الى الصفر . ويعود التأثير اساساً الى تقليل تكوين العقد الجذرية بدلاً من تقليل فعالية انزيم النيتروجينيز (Roughley 1970; Lie 1974) . وتكون العقد الجذرية في نباتات البازلاء بصورة جيدة بدرجة حرارة ٢٦ م وليس بدرجة حرارة ٢٠ م ويتفاير تأثير درجة الحرارة على تثبيت النيتروجين كثيراً . وهذا يعتمد على نوع التعايش او التصاحب بين الرايوزيم والبقول (Lie 1974) . وتكون الرايوزيم المصاحبة للبقوليات المتاقلمة للمناطق المعتدلة فعالة عند درجة حرارة منخفضة الى ٧ م

(Roughley 1970) . بينما يتوقف تثبيت النيتروجين في تعايش الرايزوبيم والبقوليات المتاقمة للمناطق الاستوائية عند درجة حرارة اقل من ٢٠ م .

وان درجة الحرارة المثلى لتثبيت النيتروجين في البقوليات المتاقمة للمناطق المعتدلة تتراوح من ٢٠ - ٢٥ م . بينما تتراوح من ٢٥ - ٤٠ م بالنسبة للبقوليات المتاقمة للمناطق الاستوائية . ان اغلب البقوليات من اصل منطقة البحر الابيض المتوسط وقد نشأت في مناخ يتصف بأنه معدل الشتاء رطب والصيف ملائم لنمو محاصيل الموسم البارد .

لقد وجد بأن رطوبة تربة المساوية الى ٢٥ - ٧٥ ٪ من السعة الحقلية مثالية للتثبيت التكافلي في فول الصويا والجات (Fred et al. 1932) . ويجب ان يبقى المحتوى الرطوبي للعقد الجذرية حوالي ٨٠ ٪ لاجل ابقائها وقد وجد في فول الصويا بان رطوبة التربة قرب السعة الحقلية مثالية عند درجات الحرارة العالية في البيت الزجاجي . الا ان رطوبة التربة وعمق وضع اللقاح البكتيري عند درجات حرارة معتدلة لم تؤثر على تثبيت النيتروجين (Wilson 1975) . وبصورة عامة تؤدي الرطوبة الزائدة او الغمر بالماء الى تقليل تثبيت النيتروجين . ربما بسبب تقليل تنفس الجذور وانتاج ال ATP . ولم يقلل الغمر بالماء فعالية انزيم النيتروجينيز nitrogenase في *Aeschynomene* . بينما ادت قلة الرطوبة الى خفض فعالية الانزيم (Albrecht et al. 1981a)

٥ - الكالسيوم والـ PH :

قد يكون تأثير الـ pH على تثبيت النيتروجين مباشراً او غير مباشراً . وتكون التربة الحامضية خالية من الرايزوبيم (Mulder and Van Veen 1960) . كما وجد بان العقد الجذرية المتكونة في التربة الحامضية تكون عادة من سلالات بكتيرية غير فعالة (Holding and Lowe 1971) . وكذلك يؤثر pH الوسط مباشرة على تكون العقد . حيث تبدأ العقدة بالظهور على الجذور في المحلول الغذائي خلال ٣ - ٥ ايام عند pH مرتفع نسبياً (Lie 1974) . وتعد مرحلة التواء الشعيرة الجذرية قبل الاصابة المرحلة الحساسة في تكوين العقد الجذرية (Munns 1969) .

يعتبر الكالسيوم ضروري لنمو النبات ومرستيم العقدة . وإن حاجة المحصول البقولى الى الكالسيوم اقل بكثير من حاجة التعايش له وخاصة تعايشات البكتريا والبقوليات المتاقلمة للمناطق المعتدلة وبدون توفر كمية وفيرة من الكالسيوم يحصل نمو شاذ واجهاض لمرستيمات العقدة .

وتعتبر بكتريا *R. meliloti* المثبتة للنيتروجين في نبات البرسيم الحلو والجبث ذات متطلبات pH عالية .

٦ - ثاني اوكسيد الكربون .

يحتوي عادة جو بكتيريا تثبيت النيتروجين على تركيز اعلى من ثاني اوكسيد الكربون (١٠-١٠٠ مرة) وعلى تركيز اقل من الاوكسجين من الهواء الجوى وتتطلب الرايزوبيم في الاوساط النقية وجود ثاني اوكسيد الكربون للنمو المثالى في الوسط (Lowe and Evans 1962) . ويشجع تركيز ثاني اوكسيد الكربون بمحتوى ٤ ٪ على تثبيت النيتروجين (Mulder and Van Veen 1960) . تؤدي الظروف الملائمة الجيدة لنمو الجذور وتنفسها الى عدم الحاجة لاضافة ثاني اوكسيد الكربون خلال انزيم *ppc carboxylase* .

الخلاصة :

تحتوي المادة الجافة للنبات على ١٪ نيتروجين . ويعد النيتروجين عامل محدد رئيسي في انتاج المحاصيل ويد مصدر تثبيت النيتروجين الجوي بايولوجيا نصف متطلبات النيتروجين على سطح الكرة الأرضية ويأتي النصف الآخر من التثبيت التجاري بواسطة عملية هابر بوش . ماعدا كمية قليلة نسبياً يساهم بها تثبيت النيتروجين بواسطة البرق.

تملك أنواع عديدة من النباتات الواطئة التي تشمل على البكتريا والاكثينومايسيدات والطحالب الخضراء المزرققة القدرة على التثبيت النيتروجيني الجوي بايولوجيا اما كاحياء حرة للعيشة او الاحياء التي تتعايش مع النباتات . تعد بكتيريا الرايزوبيوم المثبتة للنيتروجين تكافلياً مع البقوليات اهم الاحياء من الناحية الزراعية حيث تستطيع تثبيت مئة كغم من النيتروجين بالهكتار بالموسم . وتثبت عادة بكتريا حرة المعيشة (*Azotobacter Clostridium*) والطحالب المزرققة حوالي ربع هذه الكمية . الا انها ذات اهمية كبيرة في المحافظة على توازن النيتروجين في النظام البيئي الطبيعي (الغابات وارضى الحشائش) وتكون بعض انواع البكتريا من عائلة Azotobacteraceae (مثل *Azospirillum*) مستعمرات وتعايشات في منطقة بيئة الجذور الهشة قادرة على تثبيت النيتروجين وخاصة مع حشائش ربابية الكربون C_4 والتي يبدو بانها تصدر نواتج تمثيل الى منطقة الجذور اكثر من نباتات ثلاثية الكربون C_3 وبذلك تدعم هذه العملية . ولحد الان ان نتائج التجارب حول قدرة هذه البكتريا على تثبيت النيتروجين واهمية اضافة اللقاح لنباتات الحشائش ذات تغاير كبير وحيانا ذات نتائج غير مشجعة .

وبغض النظر عن النظام فان تثبيت النيتروجين بايولوجياً يتم بمساعدة معقد انزيم النيتروجينيز الذي يحوي على بروتين الحديد وبروتين الموليبدنيم - حديد وينظم انتاج النيتروجينيز بواسطة جين ال *nif* . تشمل متطلبات فعالية النيتروجينيز العالية على ، (١) بيئة خالية من الاوكسجين . (٢) مستويات قليلة من النيتروجين المتيسر مثل الامونيا (٣) مستويات عالية من الكربون المتيسر لتوفير الطاقة للنظام ولحماية النيتروجينيز ضد تثبيط الاوكسجين وتحافظ البقوليات على تهجين مستمر للكربون من التمثيل الضوئي . الا ان الاحياء غير ذاتية التغذية حرة المعيشة لاتملك مصدر للتمثيل الضوئي . وربما يعد توفير الكربون العامل الاكثر

تحديداً لتثبيت النيتروجين في بكتريا حرة العيشة. وتتطلب الرايزوبيم المثبتة للنيتروجين في البقوليات المتأقلمة للمناطق المعتدلة درجات حرارة أساسية منخفضة و pH عالي مقارنة مع البقوليات المتأقلمة للمناطق الاستوائية (مثل فستق الحقل واللوبياء).

تساهم الطحالب الخضراء المزرقة (وخاصة *Nostoc* و *Anabaena*) في توازن النيتروجين في البيئات الرطبة . وتعد الطحالب الخضراء المزرقة ذات أهمية كبيرة في زراعة الرز . وتوضح الدلائل الحديثة بأن مساهمة الطحالب الخضراء المزرقة في توازن النيتروجين في حقول الرز ذات الانتاجية الجيدة صغيرة نسبياً . ويعد ذلك اسساً الى التظليل بالكساء الخضري للرز .

تنتج البقوليات عقد جنزية ذات حجم وشكل متباين ويعتمد ذلك على انواع وفترة الفعالية المرسية للعقد للنوع . وتستطيع عادة انواع الرايزوبيم اصابة عدد من انواع البقوليات (مجاميع التقليل الخلطي) الا ان بعض انواع الرايزوبيم متخصصة (مثل رايزوبيم فول الصويا) . وتختلف سلالات الرايزوبيم في مدى فعاليتها حيث تتراوح من عدم التثبيت الى التثبيت الفعال للنيتروجين .

يمكن ان تبقى الرايزوبيم بحالة متباينة التغذية في التربة سنوات عديدة بدون وجود المحصول البقولي المائل . وتكون مجتمعات السلالات المستوطنة عقداً على باهرات المحاصيل البقولية بعد تلقيحها بسلالات جديدة اضافية . وتساعد مستويات الكالسيوم والفسفور والبوتاسيوم في التربة على بقاء الرايزوبيم حية ، وفعالية عالية لانزيم النيتروجين وفعالية الانزيمات المرتبطة بانزيم النيتروجين . وقد يكون للتلقيح البكتيري محاسن في تثبيت النيتروجين في البقوليات المزروعة حديثاً في المناطق التي لا يتواجد فيها مجتمعات من الرايزوبيم لتلك البقوليات او التي انخفضت فيها اعداد الرايزوبيم بدرجة كبيرة بسبب ظروف التربة غير الجيدة .

References

- Albrecht, S. L., and M. H. Gaskins. 1982. Univ. Florida-USDA. Unpublished report.
- Albrecht, S. L., J. M. Bennett, and K. H. Quesenberry. 1981a. *Plant Soil* 60:309-15.
- Albrecht, S. L., Y. Okon, J. Lonnquist, and R. H. Burris. 1981b. *Crop Sci.* 21:301-6.
- Alexander, M. 1961. *Introduction to Soil Microbiology*. New York: Wiley.
- Bell, F., and P. S. Nutman. 1971. *Plant Soil Spec. Vol.*, pp. 231-34.
- Benemann, J. R., and R. C. Valentine. 1972. *Adv. Microbiol. Physiol.* 8:59-104.
- Bergersen, F. J. 1971. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 22:121-40.
- Bond, G. 1951. *Ann. Bot. n.s.* 15:95-108.
- . 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Bouton, J. H., R. L. Smith, S. C. Schank, G. W. Burton, M. E. Tyler, R. C. Littell, R. N. Gallaher, and K. H. Quesenberry. 1979. *Crop Sci.* 19:12-16.
- Brill, W. J. 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- . 1980. In *The Biology of Crop Production*, ed. P. S. Carlson. New York: Academic Press.
- Buchanan, R. E., and N. E. Gibbons. 1974. *Bergey's Manual of Determinate Bacteriology*. 8th ed. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Buresh, R. J., M. E. Casselman, and W. H. Patrick, Jr. 1980. *Adv. Agron.* 33:149-92.
- Caldwell, B. E., and G. Vest. 1968. *Crop Sci.* 8:680.
- Caldwell, B. E., K. Hinson, and H. W. Johnson. 1966. *Crop Sci.* 6:495-96.
- Carnahan, J. H., L. E. Mortenson, N. F. Mower, and J. E. Castle. 1960. *Biochim. Biophys. Acta* 39:188-89.
- Cartwright, B., and E. G. Hallsworth. 1970. *Plant Soil* 33:685-98.
- Cohen, E., Y. Okon, J. Kigel, I. Nur, and Y. Henis. 1980. *Plant Physiol.* 66:746-49.
- Dixon, R. A., and J. R. Postgate. 1972. *Nature* 237:102-3.
- Dobereiner, J., and J. M. Day. 1976. In *Proc. Int. Symp. Nitrogen Fixation I*, ed. W. E. Newton and C. J. Nyman. Pullman: Washington State University Press.
- Elkins, D. M., G. Hamilton, C. K. Y. Chan, M. A. Briskovich, and J. W. Vandeventer. 1976. *Agron. J.* 68:513-17.
- Emerich, D. W., and H. J. Evans. 1980. In *Biochemical and Photosynthetic Aspects of Energy Production*, ed. A. San Pietro. New York: Academic Press.
- Fred, E. B., I. L. Baldwin, and E. MacCoy. 1932. *Root Nodule Bacteria and Leguminous Plants*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Gibson, A. H. 1977. *CSIRO Div. Plant Ind. Annu. Rep.*, pp. 33-39.
- Henzell, E. F. 1968. *Trop. Grassl.* 2:1-17.
- Hinson, K. 1975. *Agron. J.* 67:799-804.
- Holding, A. J., and J. F. Lowe. 1971. *Plant Soil Spec. Vol.*, pp. 153-66.
- Huang, C. 1978. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 19:41-52.
- Johnson, H. W., U. M. Means, and C. R. Weber. 1965. *Agron. J.* 57:179-85.
- Jones, K. 1974. *J. Ecol.* 62:553-65.
- Lie, T. A. 1971. *Plant Soil* 34:663-73.
- . 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Lowe, R. H., and H. J. Evans. 1962. *Soil Sci.* 94:351.
- Ljones, T. 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Lynd, J. Q., E. A. Hanlon, Jr., and G. V. Odell, Jr. 1981. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:302-6.

- Mahon, J. D., and J. J. Child. 1979. *Can. J. Bot.* 57:1687-93.
- Minchin, F. R., R. J. Summerfield, and M. C. P. Neves. 1981. *Trop. Agric. [Trinidad]* 58:1.
- Mortenson, L. E. 1964. *Proc. Natl. Acad. Sci. [U.S.]* 52:272-79.
- Mulder, E. G., and S. Brotonogoro. 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Mulder, E. G., and W. L. Van Veen. 1960. *Plant Soil* 13:91-113.
- Munns, D. N. 1969. *Plant Soil* 30:117-19.
- Newcomb, D., R. L. Peterson, D. Cullaham, and J. G. Torrey. 1978. *Can. J. Bot.* 56:502-31.
- Neyra, C. A., and J. Dobereiner. 1977. *Adv. Agron.* 29:1-38.
- Nutman, P. S. 1954. *Heredity* 8:35-46.
- . 1962. *Soil Microbiol. Dep., Rothamsted Exp. Stn., Annu. Rep.*, pp. 79-80.
- . 1965. In *Ecology of Soil-borne Plant Pathogens*, ed. K. F. Baker and W. C. Snyder. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- . 1968. *Heredity* 23:537-51.
- Quispel, A., ed. 1974. *The Biology of Nitrogen Fixation*. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Rice, E. L. 1980. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 21:111-17.
- Roughley, R. J. 1970. *Ann. Bot. n.s.* 34:631-46.
- Ruinen, J. 1956. *Nature* 177:220.
- . 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Russell, E. W. 1950. *Soil Conditions and Plant Growth*. London: Longmans, Green.
- Schank, S. C., K. L. Wier, and I. C. McRae. 1981. *Appl. Environ. Microbiol.* 41:342-45.
- Schubert, K. R., and J. H. Evans. 1976. *Proc. Natl. Acad. Sci. [U.S.]* 73:1207-11.
- Shanmugan, K. T., R. O'Gara, K. Andersen, and R. C. Valentine. 1978. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:263-76.
- Sorokin, H., and A. L. Sommer. 1940. *Am. J. Bot.* 27:308-18.
- Stewart, W. D. P. 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Sundara Rao, W. V. B. 1971. *Plant Soil Spec. Vol.*, pp.287-91.
- Tien, T. M., H. M. Gaskins, and D. H. Hubbell. 1979. *Appl. Environ. Microbiol.* 37:1016-24.
- Trinick, M. J. 1976. In *Proc. Int. Symp. Nitrogen Fixation*, ed. W. E. Newton and C. J. Nyman. Pullman: Washington State University Press.
- Tu, J. C. 1974. *J. Bacteriol.* 119:986-91.
- Vincent, J. M. 1974. In *The Biology of Nitrogen Fixation*, ed. A. Quispel. Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Virtanen, A. I., J. Jorma, H. Linkola, and A. Linnaalmi. 1947. *Acta Chem. Scand.* 1:90-111.
- Waksman, S. A. 1952. *Soil Microbiology*. London: Chapman and Hall.
- Wetselaar, R. 1967. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 7:518-22.
- Whitney, A. S. 1967. *Agron. J.* 59:585.
- Williams, C. H. 1970. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 36:199-205.
- Wilson, D. O. 1975. *Agron. J.* 67:76-78.
- Winter, H. C., and R. H. Burris. 1976. *Annu. Rev. Microbiol.* 110:207-13.
- Yoshida, T. 1981. Unpublished seminar paper, University of Florida, Gainesville.



تنظيم نمو النبات :

PLANT GROWTH REGULATION

ينظم نمو وتكوين النبات تركيز قليل جداً من مواد كيميائية تسمى مواد نمو النبات *plant growth substances* أو هورمونات النمو *growth hormones* أو الفايتهورمونات *phytohormones* أو منظمات النمو *plant growth regulators (PGRs)*. ان مفهوم تنظيم نمو وتكوين النبات بمواد تنتج بكميات قليلة في احد اعضاء النبات وتعمل استجابة في عضو اخر قد افترضت من قبل العالم Julius von Sachs وهو اب علم فسيولوجيا النبات في النصف الاخير من القرن التاسع عشر. وقد اويدت ملاحظاته من قبل جارلس دارون Charles Darwin في سنة ١٨٨٠ في تجارب اجراها حول تأثير الضوء والجاذبية على نمو النبات. فقد لاحظ ان بادرات حشيش الكناري *canarygrass* تنحني باتجاه مصدر الضوء (الانتحاء الضوئي *phototropism*) مالم تكن مغطاة قمم البادرات بغطاء رقيق من القصدير. وقد استنتج بان المحفز الضوئي ينتج في قمة الرويشة. الا ان الاستجابة تحصل في انسجة الجزء السفلي من الرويشة.

الا ان التأثير الكبير لمنظمات النمو في الزراعة الحديثة قد بدأ باستخدام مبيدات الادغال من نوع الاوكسينات في نهاية الحرب العالمية الثانية. وفي الوقت الحاضر تستخدم منظمات النمو لتنظيم عمليات فسيولوجية عديدة في انتاج المحاصيل تشمل على التزهير والاثمار (عقد الثمار) وتوزيع نواتج التمثيل والانبات والتكاثر واعاقه النمو وتسقيط الاوراق والنضج بعد الحصاد. ولا يمكن زراعة الانسجة والكلونات *Cloning* (التكاثر بالاجزاء الخضرية من نبات واحد) بدون استخدام منظمات النمو.

وتعامل اغلب حقول التبغ التجارية في الولايات المتحدة بمنظمات النمو لمنع تكوين التفرعات أو الخلف suckering (نمو سيقان جديدة من البراعم الموجودة في ابط الاوراق) .

تستخدم منظمات النمو كمبيدات ادغال على ما ية'رب جميع الاراضي المزروعة بالمحاصيل في الدول الصناعية ويعد انتاج هذه المبيدات صناعة بمليارات الدولارات . وتستخدم منظمات النمو بكميات كبيرة على المحاصيل البستانية لتنظيم النمو والتكوين وخاصة في انتاج الثمار . ان نباتات المحاصيل الحقلية ذات دورات تربية قصيرة نسبياً لذا من الممكن الحصول على سيطرة وراثية عن طريق التربية والانتخاب لمستويات هورمونات داخلية التي تعطي استجابات فيسيولوجية مرغوبة . يعتبر التبغ شاذ عن هذه القاعدة (كلشعير والحنطة حيث تستخدم منظمات النمو في اوريا لتنظيم نمو التفرعات) . وكلما انتجت منظمات نمو فعالة تحسن او ازداد فهم فعاليتها . ولقد تطورت عبر الزمن طرق اضافة التراكيز المطلوبة لاستجابة الاعضاء . هذا وقد يزداد استخدام منظمات النمو في انتاج المحاصيل الحقلية مستقبلاً .

المصطلحات والتقسيم : Terminology and Classification

يعطى تعبير منظم نمو النبات مجموعة واسعة من المواد العضوية (غير الفيتامينات والعناصر الصغرى) والتي تشجع أو تثبط أو تحور العمليات الفسيولوجية بتراكيز قليلة جداً Wareing and Phillips 1978 تسمى منظمات النمو الداخلية *Endogenous* (تنتج داخل النبات) بالهورمونات النباتية أو الفايتهورمونات . ان اصل مصطلح هورمون قد جاء من فيسيولوجيا الحيوان حيث يعني بان مادة تتمثل في احد الاعضاء ومن ثم تحفز استجابة في عضو اخر . ان الهورمونات النباتية غير متخصصة للعضو الذي تتمثل به او عضو الاستجابة كالهورمونات الحيوانية . الا انها تتبع هذا النمط او السلوك .

وسواء كانت منظمات النمو داخلية او خارجية *exogenous* (تنتج خارج النبات) فانها تقوم اساساً بنفس الاستجابة للنبات . على سبيل المثال . ان منظمي النمو المصنعة *2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)* و *بايكلوورام picloram* قد حلت بدل من حامض البيكلونك *picolinic acid* (التوردون

(Tordon) . وهي ذات فعالية متساوية على مزارع الانسجة في المختبر . ان الاوكسين المصنع ضروري بسبب ان النسيج قد فصل عن مصدر الاوكسين الطبيعي (Col lins et al. 1978) . تحفز منظمات النمو المصنعة عندما تكون في تراكيز مناسب تكوين الكالوس *callus* (تكوين كتلة خلايا غير متميزة) وتميز الاعضاء والشكل الظاهري للنبات من خلية برنكية واحدة ، مثل لب التبغ وجوزر الجزر وورقة البطاطا .

تقسم منظمات النمو حالياً الى خمسة مجاميع هي : الاوكسينات والجبرلينات والسايتوكايتينينات ومثبطات النمو والاثلين . وهناك هورمونين لا يدخلان ضمن المجاميع أنفة الذكر هما *brassinalide* وهو *steroid* و *triacontanol* وهو كحول وهذا الاخير يستطيع انتاج تحفيز كبير للنمو . وقد تم عزلهما حديثاً الاول من بنور السلجم (*Brassica napus*) . والثاني من بعض النباتات الراقية (Thomas 1976) . وبسبب هذه المواد والتي سوف يتم اكتشافها مستقبلاً فقد يحتاج التقسيم الحالي الى اعادة النظر وقد تم انتاج العديد من الهورمونات الصناعية المناظرة لاجلب الهورمونات في الاقسام الخمسة وللعديد منها اهمية تطبيقية زراعية .

- ويجب ان يتصف المركب ببعض الصفات حتى يمكن اعتباره فايتهورمون
- ١ - موضع التمثيل يختلف عن موضع الفعالية فمثلاً يكون التمثيل في البزاعم والاوراق الحديثة والاستجابة تكون في السيقان والجنور او اعضاء اخرى) .
 - ٢ - الاستجابة تكون بكميات قليلة جداً (التركيز منخفض لحد 10^{-10} مول) .
 - ٣ - لا تشبه الفيتامينات والانزيمات حيث تكون الاستجابة تكوينية ومرنة (غير عكسية) (مثل استجابات الانتحاء) .

احياناً يكون التحفيز الطبيعي للفايتهورمون اقل من المثالي ويتطلب مصدر خارجي لانتاج التحفيز المطلوب . وان عمل مبيدات الادغال مثلاً جيداً لسلوك الاوكسينات عندما تكون بكميات اكثر من الحد المثالي . وتعمل عادة الفايتهورمونات مع الهورمونات الاخرى لاحداث الاستجابة .

الاوكسينات Auxins

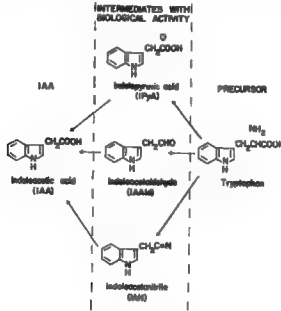
الاوكسيني هو التعبير الشامل لمواد النمو التي تحفز التوسع الخلوي . الا ان الاوكسينات تبين ايضاً مدى واسع من استجابات النمو (جدول ٧ - ١) . كما وان عدداً من المواد الطبيعية تؤدي فعالية الاوكسين . ويعد حامض الاندول خليك indoleacetic acid (IAA) او مركب عزل وشخص وهو الاوكسين السائد في النباتات .

اوضح Boysen-Jensen و Paal قبل حوالي خمسون عاماً بان محفز النمو ينتج في قمة الرويشة coleoptile tip ومن ثم ينتقل الى منطقة الانحناء كما افترض دارون Wareing and Phillips 1978 ولاحظ Paal and Boysen-Jensen بانه عند ازالة قمة الرويشة ووضعها على جانب واحد من الرويشة المقطوعة فان النمو والانحناء يحصل مباشرة اسفل ذلك الجانب . كما ويمكن نقل المحفز خلال طبقة من جل الاكر agar gel توضع بين القمة ومنطقة الانحناء . ولكن لم يحصل ذلك باستخدام طبقة من المايكا mica .

وجاء التقدم الكبير في معرفة تنظيم نمو النبات من الابحاث التي قام بها F. W. Went في العشرينات من هذا القرن حيث عمل في مدينة Utrecht في هولندا ثم في الولايات المتحدة (Went and Thimann 1937) . لقد استخلص المادة الفعالة من قمم الرويشة على جل الاكر . وعند وضع جزءاً صغيراً من جل الاكر الحاوية على المادة المستخلصة على جانب واحد من الرويشة المقطوعة القمة حصل انحناء للرويشة . وكان الانحناء يتناسب مع تركيز المستخلص بالاكتر . وقد ادى ذلك الى تطوير او اختبار كمي للاوكسينات وسمي باختبار انحناء الشوفان Avena curvature test . وقد اعطى هذا الاختبار الفعّال دفعا لبحوث الاوكسين . وقد تم عزل وتشخيص IAA بحالة نقية من قبل Kogl, Haagen-Smith, and Erxleben في سنة ١٩٣٦ . وحالاً اكتشفت القدرة والاهمية الزراعية لـ IAA ولكن بسبب عدم الثبات النسبي للـ IAA لم تكن استخداماته ممكنة بصورة واضحة . ومنذ ذلك الحين تم صنع اوكسينات عديدة استخدمت بصورة واسعة في الزراعة (انظر شكل ٧ - ٢) .

الاوكسينات الطبيعية والمصنعة

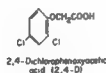
بينما يعتبر IAA الاوكسين الاساسي في النباتات . فقد تم تحويل عدد من المواد الطبيعية المشابهة للاوكسين (مماثلة) الى IAA (شكل ٧ - ١) . تعتبر المركبات Indoleacetonitrile (IAN) وحامض الاندول بايروفك indoleacetaldehyde (IAAld) و indolepyruvic acid (IPyA) وسطية لتمثيل IAA من الاحماض الامينية التي تكون التربتوفان tryptophan (شكل ٧ - ١) . ويعد الـ IAN اول هورمون استخلص من اوراق وسيقان النباتات الراقية (المائلة...الصليبية (Jones et al. 1952) (Cruciferae)



شكل (٧ - ١) التمثيل الحيوي لحامض الاندول خليك IAA من الحامض الاميني التربتوفان وتكون مركبات وسطية IPyA, IAAld, و IAN التي تكون ذات فعالية اوكسينية منخفضة .

لا يتواجد الـ IAA عادة بحالة نقية في الطبيعة بل انه يكون مخلوط مع حامض الاسكوربك والسكريات والاحماض الامينية والمركبات العضوية الاخرى (صورة مقيدة) . تتحول الاشكال او الصور المقيدة بسهولة الى IAA الحر بالتحلل الانزيمي

تعتبر الـ phenoxycetic، والـ naphthaleneacetic، picolinic وحامض البنزويك والـ dinitrophenols اوكسينات مصنعة ذات استخدام زراعي مهم . وخاصة كمبيدات ادغال (شكل ٧ - ٢) . لقد طور مييد الادغال الـ 2,4-D في الولايات المتحدة خلال الاربعينات والمبيد المماثل له (MCPA) 2-methyl,4-chlorophenoxyacetic acid قد طور بنفس الوقت في انكلترا . واصبح الـ 2,4-D المناظر للـ 2,4,5-tri chlorophenoxyacetic acid (عامل البرتقال او 2,4,5-T.) مييد شائع الاستخدام لمقاومة الادغال عريضة الاوراق . الا ان استخدامه منع مؤخراً بسبب عدم نقاوته واحتوائه على الـ dioxin الذي قد يسبب السرطان . الدايكاميا Dicamba من مشتقات حامض النيترويك والبيكلورام picloram من مشتقات البيكولنيك وهي اوكسينات ومبيدات ادغال فعالة .



شكل (٧ - ٢) الصيغ التركيبية لبعض الاوكسينات المصنعة المستخدمة تجارياً في الزراعة الـ 2,4-D والبيكلورام (التوربون) وهي تستخدم كمبيدات ادغال وفي زراعة الانسجة

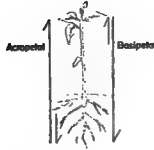
لقد تم تصنيع مئات المركبات المماثلة للاوكسينات . الا ان فعالية هذه المركبات لم تكن جميعها مشابهة لفعالية الاوكسينات . لقد وجد انه من الضروري ان يتصف الاوكسين بتركيب كيميائي خاص للجزئيات وصفات موضعية او مكانية مثل حلقة غير مشبعة وسلسلة جانبية (Leopold and Kriedemann 1975) حامضية وعلاقة مكانية خاصة بين الحلقة والسلسلة الجانبية .

ايض الاوكسين AUXIN METABOLISM

يرتبط مستوى وفعالية الاوكسين الداخلية بالتوازن بين التمثيل والفقد في الانتقال والايض. تنتج الاوكسينات في انسجة مرستيمية فعالة (مثل البراعم والاوراق الحديثة والثمار). ويحصل ثبوت او عدم انتقال الاوكسينات بالاكسدة الضوئية photooxidation والاكسدة الانزيمية (بانزيم IAA-oxidase) خلال النبات وخاصة في الانسجة القديمة (Wareing and Phillips 1978) ان حدوث عملية Peroxidation اي تكوين (H_2O_2) بيروكسيد الهيدروجين في النبات بوجود الاوكسين (O_2) يقلل من فعالية الاوكسين. كما ان وجود الاوكسين مع بعض المركبات العضوية (مثل حامض الاسكوريك والاحماض الامينية والسكريات) يقلل من فعاليتها.

يكون انتقال الاوكسينات حركة سفلية *basipetal* اي من القمة الى القاعدة (مثل ٧-٣). ولم يغير عكس نهايات اجزاء الساق هذه الحركة القطبية *polarity*. الا ان الدراسات الحديثة باستخدام النظائر المشعة للـ ^{14}C اظهرت وجود حركة راسية *acropetal* (من القاعدة الى القمة) (Wareing and Phillips 1978)

ان معدل سرعة انتقال الـ IAA خطية وتحصل بحوالي ٦ ملم / ساعة وسرعة الـ 2,4-D حوالي ١ ملم / ساعة. وبصورة عامة يكون انتقال الاوكسين خلال الانسجة الحية *symplastic* (في اللحاء) وفعال اي ان السرعة تنخفض بدون الاوكسين او بوجود ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) . وقد تسبب المستويات العالية للاوكسينات حصول انتقال بالانسجة الميتة *apoplastic* (في الخشب) علاوة على الانتقال بالانسجة الحية. وبما ان انتقال الاوكسينات لا يتوقف في ظروف تواجد النايتروجين (N) فان هذا يدل على وجود انتقال وحركة فعالة وغير فعالة (Leopold and Kriedemann 1975). وتؤدي منظمات النمو الاخرى كالسايتو كاينينات وخاصة الجبريلينات الى زيادة سرعة الانتقال. بينما تؤدي مثبطات النمو الى اعاقه الانتقال. ويعتبر فلورايد الصوديوم وحامض triiodobenzoic مثبطات لانتقال الاوكسين.



فكل (٧ - ٢) الانتقال القطبي اليومي النسبي لعماض الاندول عليك في السيقان والجذور الحديثة . ان اغلب حامض الاندول عليك المنتج في البراعم وانسجة السيقان الحديثة تنتقل الى الاسفل والانتقال في الجذور يكون الى الاعلى وبمبدأ عن قسم الجذر .

اختبار الاوكسين AUXIN ASSAY

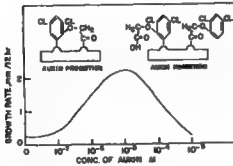
وكما ذكرنا مسبقاً فإن التحدي للاختبار الكمي للمركب الكيميائي المتواجد بتركيز قليلة جداً (١٠-٧ او ١٠-٤ مول) قد جوبه من قبل Went باستخدام اختبار وانحناء رويشة الشوفان *Avena curvature test* وادى وضع مركب غير معروف التركيز بصورة غير متساوية على رويشة الشوفان والذرة الصفراء والحنطة الى نمو متباين وانحناء يتناسب مع التركيز المستخدم Weaver 1972 . هذا ان العلاقة بين زاوية النمو الجديد والنمو الطبيعي دليل على التركيز المستخدم .

يعتبر اختبار النمو المستقيم لرويشة الشوفان اختبار حيوي آخر مبنياً على اساس التوسع الخلوي . وهنا يشمل تحديد استجابة النمو من حيث الزيادة في طول اجزاء السيقان الحديثة الخضراء المقطوعة الموضوعة في محلول يحوي على مواد اختبار النمو . لقد اضاف التطور الكروموتوكرافي *Chromatography* ابعاداً جديدة وذلك بتوفير طريقة فعالة لعزل الهرمونات والمركبات المماثلة . كما وتعتبر اجهزة قياس الطيف *spectroscopy* الضوئي والكتلي وسائل فعالة لتشخيص وقياس الهرمونات بالطرق الكيميائية .

الاستجابات للاوكسينات RESPONSES TO AUXINS

تتراوح استجابات النبات للاوكسينات من تأثيرها على الايض الخلوي الى تنسيق المظهر الشكلي للنبات . ويشمل هذا على الانفصال *abscission* والشيخوخة *senescence* (جدول ٧ - ١) . يشمل التأثير الخلوي على (١) زيادة النيوكليتايدات DNA و RNA ونسبة البروتين والانزيم . (٢) زيادة تبادل البروتونات وشحنات الاغشية وامتصاص البوتاسيوم (Marre 1977) . و (٣) التأثير على تفاعل الفايتوكروم بالضوء الاحمر وتحت الاحمر (Ali and Fletcher 1971; Leshem 1973)

تتأثر الاستجابة الى الاوكسين بتركيزه . وهو يكون مثبطاً في التراكيز العالية . والذي تم توصفه بتنافس الاتصال على مناطق استقبال الاوكسين (شكل ٧ - ٤) . حيث تؤدي زيادة التركيز من احتمال اتصال جزئية واحدة على كل منطقة من مناطق استقبال الاوكسين والذي يؤدي الى قلة فعالية المعقد الكيماوي المتكون . كما وتختلف الاستجابات كثيراً اعتماداً على حساسية العضو النباتي . فيستجيب الساق الى مدى واسع من تركيز الاوكسين . واساساً تثبط الجذور في مدى اغلب تراكيز الهرمون (شكل ٧ - ٥) .

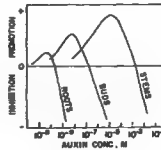


شكل (٧ - ٤) مخطط يبين التثبيط الناتج من تراكيز الاوكسين العالية Leopold 1984

شكل (٧ - ٥) استجابة نمو الجذور والبراعم والساق لتراكيز الاوكسين . ونمو الجذور يثبط في مدى واسع من

التركيز . بينما يشجع نمو الساق

Thimann 1937

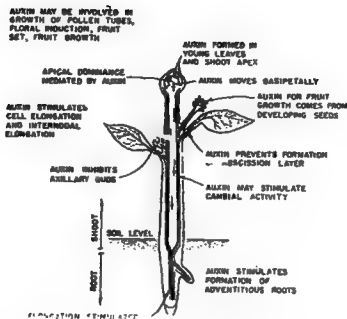


تم حديثاً توضيح استجابات الانتحاء الأرضي *geotropism* بمستويات حث جاذبية السيقان غير المتماثلة بسبب إعادة توزيع الاوكسين والانتحاء الضوئي *phototropism* بمستويات غير متماثلة بسبب تحطم الاوكسين على الجانب المعاكس (Audus 1972). في استجابات الانتحاء الأرضي أو الانتحاء الجاذبي ينتقل الاوكسين الى الخلايا على الجانب السفلي من العضو الموجود بوضع افقي محفزاً استطالة الخلايا وانحناء غير متماثل وهذا يسمى بفرضية Cholodny-Went التقليدية. فقد فرض بان حركة الاوكسين الى الجزء السفلي للجذور يشبط النمو على ذلك الجزء مما يؤدي الى انحناء الى الاسفل. وقد شك بعض علماء الفسلجة في مدى صحة هذه الفرضية (Wilkins 1977; Wheelen and Salisbury 1980) وقد اقترح بان قنسوة الجذر *root cap* وليس قمة النمو هي الانسجة الحساسة للجاذبية الذي يوضح حركة حامض الابسيسيك (المشط) (الراسية) الى الاعلى (والى الجانب السفلي استجابة انتحاء الجذر. وقد اثبت الشكوك ايضاً حول فرضية Cholodny-Went بسبب الملاحظات التي تقترح بان انتشار الاثيلين يكون الى الاعلى ويشبط الجزء العلوي للساق الموجود بوضع افقي في حالة الانتحاء العلوي (Wheeler and Salisbury 1980) (انظر شكل ٧ - ٢٢). ويبدو بان IAA ينتقل بسرعة بطيئة جداً لعمل انتحاء ارضي وان ارتباطه به كان عريضاً بدلاً من ان يكون هو العامل المسبب.

ومهما كان العامل المسبب فان توسع جانباً واحداً للساق أو الجذر يتصاحب مع بسط او مد جدار الخلية والذي يبدو بان ناتج من رخاوة حشوة السكريات العديدة *polysaccharide matrix* (Masuda 1977). يؤدي ربط الاوكسينات مع الاغشية البلازمية وخاصة اللاييتين *lecithin* الى زيادة التنفس وامتصاص البوتاسيوم. وقد توضح هذه التأثيرات التوسع المرن لجدران الخلايا بترسب سكريات عديدة اضافية في وحدات الجدران الرخوة.

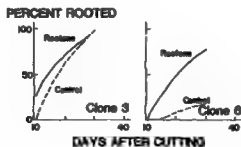
الاوكسينات ضرورية لنمو الكالوس *callus* (Wain and Faucett 1969) سواء في مزارع الانسجة أو انسجة العقد أو الجول *gall*. ويعتقد بان الاوكسين يحث التواء الشعيرات الجذرية الضرورية للاصابة بالرايزوبيا (Allen 1973).

تنسق الاوكسينات عمليات النبات في الشكل الظاهري (جدول ٧ - ١). شكل ٧ - ٦). على سبيل المثال. تثبط الاوكسينات نمو البراعم الجانبية والجذور. الا ان نشوء جنور جديدة قد تشجعت بالاوكسينات على انسجة الكالوس المتكون على



شكل (٦ - ٧) بين فعالية الأوكسين في النمو والتكوين وتنظيم الشكل الظاهري للنبات Steward 1964

أجزاء مقطوعة . إن إضافة أوكسين من مصدر خارجي كان دائماً ضرورياً لأنواع أو الأصناف صعبة التجذير (شكل ٧ - ٧) (Hart and Carlson 1967) .
وتتكون أولاً أنسجة الكالوس على الجزء المقطوع ثم تتميز الجذور من الكالوس .
وتتكون الأجزاء المقطوعة لأنواع عديدة جذوراً بسرعة فقط عند وجود أنسجة براعم أو أوراق حديثة فعالة على الأجزاء المقطوعة (يشار إليها أحياناً بمعامل الورقة)
(Weaver 1972)



شكل (٧ - ٧) تأثير الأوكسين على نمو الجذر في أنسجة الكالوس على نموذج يكون الجذر بسهولة (كلون ٣) .
ونموذج يكون الجذر بصعوبة (كلون ٦) الكالوس الناتج Hart and Carlson 1967

تؤخر الاوكسينات انفصال **abscission** الاوراق والثمار وتحفز تكوين ثمار عديمة البذور **parthenocarpy** . على سبيل المثال تنمو ثمار الشليك بدون بنور عند معاملةها بحامض النفتالين خليك **naphthaleneacetic acid** (Nitch 1950) (NAA) او باستخدام الـ **picloram** (التوردون [Tordon] (Wareing 1976) . وان وجود البنور او مصدر خارجي للاوكسين ضروري لنمو الثمار (انظر الفصل ١٢) .

يسبب التركيز العالي للاوكسينات نموات غير طبيعية مثل ظاهرة الحركة الانمائية العلوية **epinasty** (تشوية الورقة بسبب تميز نمو العرق الوسطي للسطح العلوي والسفلي للورقة) . وتكوين اوراق شبيه باوراق البصل . ودمج او اتحاد الجنور الهوائية وتكوين سيقان حشائش سريعة التكسر . ويمكن لابخرة الاوكسينات من مصدر بعيد نسبياً ان تسبب ظاهرة الحركة الانمائية في الانواع الحساسة مثل الطماطة او العنب . اما التراكيز العالية للاوكسينات فتؤدي الى قتل بعض الانواع وعدم التأثير على انواع اخرى . لذا فان الاوكسينات تستخدم كمبيدات انتخائية **selective herbicides** . هنا ولم يتم فهم اسباب درجة الانتمائية العالية هذه فهماً جيداً لحد الآن .

استخدامات الاوكسينات في الزراعة

ان بعض اهم المبيدات الانتخائية واكثرها استخداماً في مكافحة الادغال هي اوكسينات . وخاصة حامض الفينوكسي خليك المناظر (مثل **MCPA** **2,4-D, 2,4,5-T**) (شكل ٧ - ٢) . يعد مبيد الـ **2,4-D** من اولى المبيدات الانتخائية الاولى . ومن المحتمل انه لا يزال المبيد الاكثر اهمية من غيره . وهو ذي انتخائية عالية ولا يتاكل . وفعال بتركيز قليلة جداً . وامين الاستخدام . وسهل التصنيع نسبياً واستخدامه اقتصادي . ويعتبر عدد من حامض البنزويك المناظرة (مثل الدايكامبا **dicamba** والكلورامبين **chloramben** وبديل حامض البيكلونيك **picolinic** والبيكلورام [Tordon] **picloram**) مبيدات مهمة ايضاً (شكل ٧ - ٢) .

للاوكسينات استخدامات تجارية مهمة اخرى كما ذكر بمراجعة **Weaver** المكثفة سنة ١٩٧٢ . وذلك على اساس تشييط تكوين طبقة الانفصال . حيث ان بعض الاوكسينات (مثل **NAA** او **2,4-D**) فعالة في منع سقوط ثمار التفاح والخوخ

(جدول ٧ - ٢) . وتحث الاوكسينات ومن ضمنها 2,4-D تكوين الاثلين وعقد الثمار في الاناناس (Burg and Burg 1966) .

جدول (٧ - ٢) تأثير الاوكسين على سقوط ثمار التفاح .

الاووكسين	مجموع الثمار المعاملة	نسبة الثمار الساقطة
NAA	٣٤٤	١٠,٧
IBA	٢٤٠	٣٣,٩
IAA	٣٣٨	٣٣,٩
IPA	٣٧٥	٤٤,٦
المقارنة	٣٤٧	٥٧,٤

المصدر : Mitchell and Marth 1947 .

يتميز الاثمار الحوالي *Biennial bearing* (انتاج حاصل قليل وكثير من سنتين متبادلتين) شائع في الكثير من الاشجار . ويمكن تصحيح هذه المشكلة بخف الثمار في سنوات الانتاج الكثير او الرش باستخدام NAA بالوقت الملائم او باوكسينات اخرى (Luckwill 1976)

ان التحضيرات التجارية لمركبات التجذير متوفرة وهي تشجع تكوين الكالوس والجذور التي تستطيع تحسين نمو وتثبيت الاجزاء المقطوعة (الاقلام cuttings) . وتتحفز الانواع والاصناف صعبة التجذير بغطس اسطح الاجزاء المقطوعة في المركبات التي تساعد على تكوين الجنور (شكل ٧ - ٧) . لقد عرف اصحاب المشتال التجارية اهمية انتخاب الاقلام مع وجود بعض البراعم المتكونة الفعالة لتجهيز اوكين داخلي . والاووكسينات فعالة ايضاً في منع نمو البراعم في البطاطا المخزونة (Mitchell and Marth 1947) . فقد تغطس البطاطا في محلول الاوكسين (مثل NAA او الرش بالتالك talc او تراب القصار fuller's earth الحاوي على الاوكسين او خزنها مع اشرطة ورقية منقوعة بمحلول الاوكسين . وتوجد الآن منظّمات نمو جديدة وفعالة متوفرة لهذا الغرض .

الجبريلينات Gibberellins

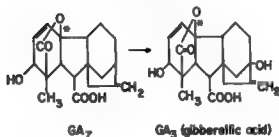
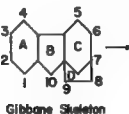
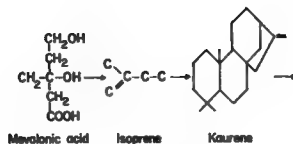
قبل اكتشاف الجبريلينات (GAs) لاحظ المزارعون اليابانيون منذ قديم الزمان وجود بادرات شاذة بسبب طولها في حقولهم والتي نادراً ما تزهر أو تكمل دورة حياتها. واستنتج هؤلاء المزارعون ان النباتات التي تنمو بهذه الطريقة كانت مصابة وقد سمي هذا المرض باسم البكاني *bakanae* (مرض البادرة الحقاء foolish seedling disease) بسبب ان النبات يظهر بصورة مرضية في بداية فصل النمو ولا يعطي حاصلاً في النهاية. وفي سنة ١٩٢٦ تم عزل وتشخيص الفطر *Gibberella fujikuroi* الذي اسمه العلمي الاخر *Fusarium moniliforme* كمسبب للمرض. وقد استخلص الباحثون اليابانيون الجبريلين من هذا الفطر وكان بمقدورهم ان يبرهنوا بان المستخلص هذا تأثير على الزيادة في ارتفاع النبات وكانت مشابهة للزيادة في ارتفاعات النباتات المصابة بالفطر.

وبعد اكتشاف اليابانيون. اجريت دراسات مكثفة في ابحاث منظمات النمو عامة والجبريلينات خاصة. وقد ظهر خلال الخمسينات في بريطانيا (Brian 1958) والولايات المتحدة (Thimann 1963) وخاصة بعد الملاحظات التي تؤكد وجود الجبريلينات في النباتات الراقية.

تعتبر الجبريلينات تريينويدات ثنائية diterpenoids, وهذه تضعها في نفس العائلة الكيميائية كالكلوروفيل والكاروتين.

ان المركب الكيميائي الاساسي المكون للجبريلينات هو *gibbane skeleton* ومجموعة الكاربوكسل الحرة (شكل ٧-٨). وتتباين صور الجبريلينات المختلفة اساساً باحلال مجموع الهيدروكسيل او الميثيل *methyl* او الاثيل *ethyl* في *gibbane skeleton* وبوجود حلقة اللاكتوني *lactone*, التي تنتج بكاربون رقم ٢٠ الى ١٩ في *gibbane structure* (شكل ٧-٨). ان وجود حلقة اللاكتوني. على سبيل المثال في GA_3 , GA_4 , GA_7 مسؤولة عن الفعالية الحيوية العالية لهذه المركبات المتناظرة مقارنة مع GA_{12} و GA_{13} ومركبات اخرى لا تحتوي على حلقة اللاكتوني.

يتم تمييز الجبريلينات المختلفة بترقيمها (GA_1 , GA_2 , GA_3 , ..., GA_{13}) وقد وصل عدد الجبريلينات المختلفة ٥٢ نوعاً (Hedden et al. 1978) وكان حامض الجبريليك (GA_3) اول المركب التي شخصت واكثرها شيوعاً واستخداماً في اجراء البحوث والدراسات. وقد تم استخلاصه وبلورته من فطر



* lactone ring

شكل (٧ - ٨) مسار التمثيل الحيوي GA₃ و GA₇ بوجود حلقة اللاكتون و GA₁₂ و GA₁₃ بدون وجود حلقة اللاكتون. إن الأخيرين ذات فعالية بيولوجية منخفضة مقارنة مع GA₃ و GA₇.

Gibberella fujikuroi. ومن المشوق معرفة أن حامض الجبريليك GA₃ ذو مدى واسع من الفعاليات الحيوية. هذا ويتم الحصول على GA₃ للأغراض التجارية من مزارع الفطر. كما وأن GA₃ وأغلب الجبريلينات الأخرى منتشرة وموزعة بصورة واسعة في النباتات الراقية.

التواجد الطبيعي للجبريلينات

NATURAL OCCURRENCE OF GIBBERELLINS

يتواجد طبيعياً عدد كبير من الجبريلينات ذات تركيب كيميائي أساسي وفعالة حيوياً. ويمكن عزلها من البكتيريا والفطريات والفطريات والطحالب والحزازيات والنباتات البذرية. وقد شخصت بأنها مركبات مشابهة للجبريلينات (1975 Krishnamoorthy). الجبريلينات ذات تركيب كيميائي متشابهة إلا أنها تقوم بفعاليات بايولوجية مختلفة وعديدة. هنا وتكون المواد المشابهة للجبريلينات ذات تخصص كيميائي أقل. إضافة إلى أن فعاليتها تكون في مدى أضيق من فعالية الجبريلينات.

تحتوي جميع أعضاء النبات على الجبريلينات بمستويات مختلفة إلا أن المصادر الغنية بالجبريلينات والتي يمكن أن تمثلها هي الثمار والبذور والبراعم والأوراق الحديثة وقمم الجذور (Carr 1972). وتمتد البذور غنية بالجبريلينات بشكل خاص. كما أن البذور غير الناضجة غنية بالجبريلينات إلا أنها تتواجد بصورة أو أشكال مقيدة عند نضج البذور (Paleg 1965).

تختلف الأنواع النباتية والأصناف وعمر النسيج في احتوائها على نوع الجبريلين وتركيزه. وبصورة عامة يكون مستوى الجبريلينات في المرستيمات البينية intercalary meristems أقل من المستوى الطبيعي وتستجيب أجزاء النبات إلى المصادر الخارجية للجبريلينات على سبيل المثال تستجيب السيقان الحديثة للنباتات المتقزمة وراثياً وبعض المرستيمات الأخرى وبذور بعض الأنواع إلى الجبريلينات من مصادر خارجية وربما يكون ذلك بسبب المستوى المنخفض لتركيز الجبريلينات الداخلية.

أيض الجبريلينات GIBBERELLIN METABOLISM

يحدث التمثيل الحيوي للجبريلينات أساساً من الثمار والبذور غير الناضجة والبراعم والأوراق والجذور (Wareing and Phillips 1978) وبالرغم من أن الجبريلينات معروفة بأنها تثبط نمو الجنود إلا أن الجبريلينات تعد مصدراً للجبريلينات للأعضاء الأخرى وعموماً فإن البذور هي أغنى المصادر بالجبريلينات.

بدلالة النمو السريع للثمار التي تحيطها . وتوجد ثلاثة مركبات اىضية كيميائية تدخل في التمثيل الحيوي للجبريلينات (Leopold and Kriedemann 1975) (شكل ٧ - ٨) .

- ١ - حامض الميفالونيك Mevalonic acid يعمل كمنشئ لتكوين الايسوبرين isoprene المتكون اساساً من ذرة الكاربون رقم ١٩ و ٢٠ في gibbanc skeletons .
- ٢ - الكيورين kaurene يتكون من الايسوبرين .
- ٣ - الجبريلين يتكون من الكيورين . وهو الاصل الرئيسي للجبريلين .

لم يتم فهم تحليل الجبريلينات في انسجة النبات سواء كانت من مصادر خارجية او داخلية . ويبدو ان الاشكال المقيدة والحررة تتحول الى بعضها البعض بسهولة . وتحوي البذور على كميات كبيرة من الاشكال المقيدة الا ان البذور المنقوعة والمبردة تعطي جبريلينات حررة (Aung et al. 1969) ويؤدي تعريض البذور الى درجات الحرارة الباردة (تسريع التزهير (vernalization) وتثبيط البراعم الساكنة الى زيادة اشكال الجبريلينات الحررة وهذه بدورها تؤدي الى حث التزهير وكسر السكون على التوالي (انظر الفصل الثاني عشر) . . كما ويمكن اطلاق الجبريلينات بدل الضوء الاحمر في كسر السكون . وهناك دلائل تشير الى ان نمو السلاية والورقة يحتاج الى تداخل الجبريلين والضوء (انظر الفصل العاشر) ويظهر بان هذه النتائج تفسر سرعة التحويل بين الاشكال الحررة والمقيدة والتداخل مع الضوء من خلال مستقبل صبغة الفايتوكروم (Loveys and Wareing 1971)

ويمكن تثبيط فعالية الجبريلينات كيميائياً وذلك باحتمال حجب مواقع الاستقبال بجزيئات مشابهة تركيبياً للجبريلينات. ان حامض الابسيسيك (ABA) مثبط للجبريلينات فهو يثبط عمل GA الذي يزيل التقزم (et al. 1965) (Thomas) وهو مشابه من الناحية الكيميائية للجبريلينات. هذا وقد يثبط الانيلين فعالية الجبريلينات بالرغم من انه غير مشابه لها من الناحية الكيميائية (Scott and Leopold 1967)

ويوجد عدد من الكيماويات المصنعة من مصادر خارجية تسمى معوقات النمو growth retardants توقف نشاط الجبريلينات بفعالية (Lang 1970) Cathy 1944 ان عمل معوقات النمو المصنعة مثل AMO - 1618 و CCC و SADH او daminozide و Phosfon-D, و morphactins مضاد لعمل الجبريلينات (انظر شكل ٧ - ١٦) .

يفترض ان يكون انتقال الجبريلينات خلال الانسجة الحية الا ان وجودها في اللحاء والخشب تحت ظروف معينة. يؤكد بان الانتقال يكون بالانسجة الحية والميتة (Krishnamoorthy, 1975). وقد لوحظ بان انتقال الجبريلينات في اللحاء مشابه لسرعة انتقال الكاربوهيدرات وهو حوالي ٥ سم / الساعة. بينما تكون حركة الاوكسين حركة قطبية وسفلية فان الجبريلينات تنتقل بحرية الى الاسفل والاعلى (Chlor 1969)

اختبار الجبريلينات Gibberellin Assay

ان التركيز القليل جداً للجبريلينات في انسجة النبات قد جعل تشخيصها وقياسها صعباً. هنا والى وقت قريب كان قياس الجبريلينات مقتصرأ على الاختبار الحيوي bioassay. وان التقدم الحديث في الكروموتوكرافي وهي طريقة (عمود الغاز والسائل وطبقة الكروموتوكرافي الرقيقة) فعالة في عزل الجبريلينات. يستخدم جهاز (Nuclear magnetic resonance) لاختبار الجبريلينات ومواد النمو الاخرى كيموفسيولوجيا (physiochemically) لقد بين (Weaver 1972) بان الاختبارات الحيوية الاكثر نجاحاً هي:

- ١- البيرون الشعير Barley aleurone. تعامل البذور الممقمة الخالية من الاجنة بالجبريلينات، فتعطي انزيم α -amylase ويتحول النشا الى سكر الذي يمكن قياسه، ان هذا الاختبار بسيط وسريع (انظر شكل ٧-١٠).
- ٢- البازلاء القزمة Dwarf pea تعامل نباتات البازلاء القزمة وراثيا بالجبريلينات وتنمو تحت الضوء الاحمر لملاحظة التغير في طولها وتقارن مع نباتات طبيعية للمقارنة.
- ٣- اختبارات نمو توسع اخرى يستند على اساس الزيادة الحاصلة في استطالة السالامية الناضجة من الجبريلينات. وتشمل الاختبارات الاخرى على اختبار السويقة الجنينية السفلى hypocotyl للخنس واختبار الرز القزم.

الاستجابات للجبريلينات Gibberellins Responses to

لقد سجل مدى واسع من الاستجابات للجبريلينات لاعداد من النباتات الخشبية والعشبية (Pacey 1965) (جدول ٧ - ١). وتعمل الجبريلينات بالتعاون مع الاوكسينات والسايكوكاينينات ومن المحتمل مع هورمونات اخرى . ويمكن ان تسمى انظمة الاقتراب system-approach او التعاون synergism . على سبيل المثال . السيادة القمية ونمو الكامبيوم والانتحاء الارضي والانفصال وتكوين الثمار الخالية من البذور تعزى لفعالية الاوكسينات الا ان الجبريلينات تؤثر ايضا او انها ضرورية لهذه الاستجابات ويعد الـ GA عالي الفعالية في زيادة عقد الثمار حتى في التفاح والعرموط التي تكون استجابتها قليلة للاوكسينات (Thimann 1972) ويمكن حث تكوين ثمار بدون بذور parthenocarp في الثمار الحجرية stone fruits التي تفشل في استجابتها للـ IAA .

ان أكثر استجابة معروفة للجبريلين هي تحفيز نمو السلامة وتصبح نباتات النرة الصفراء والبالزاء والفاصولياء القصيرة وراثياً طبيعية بعد معاملتها بالجبريلينات (شكل ٧ - ٩)

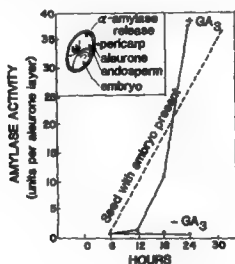


شكل (٧ - ٩) استجابة الفاصوليا الشجرية bush bean (يسار) والفاصوليا (يمين) للرش بالجبريلين (GA) مقارنة مع نباتات غير المرشوشة (O).

(phinney 1956) .. أن متطلبات بعض النباتات الحولية (مثل البنجر واللفت)
لدرجات الحرارة المنخفضة لحث التزهير قد عوض عنها بالمعاملة بـ GA_3 (شكل
٧ - ٩)

يتطلب تحرير انزيم α -amylase الذي ينتج عنه تحلل النشا والانبات الى
الجبريلينات (شكل ٧ - ١٠) .

لم يرتبط التزهير مع هورمون معين الا ان الجبريلينات اظهرت بانها فعالة في
التزهير والمحافظة على طبيعة نمو غير محدودة (بدون تزهير) في صنف البازلاء
الحساس للفترة الضوئية تحت ايام طويلة (Probsting et al. 1978) .



شكل (٧ - ١٠) فعالية انزيم α -amylase في طبقة الأليرون في بنور الشعير العالي من الجنين وذلك
بإضافة الجبريلين (+GA₃) وعدم إضافة (-GA₃) مقارنة مع بنور طبيعي (Bailey et al. 1978)
الشكل في الجهة اليسرى مخطط يوضح إطلاق أو تحرير الجبريلين α -amylase
(Paleg 1965)

لقد تم عزل جبريلين GA_3 ووجد بأنه يؤخر التزهير وادت الايام الطويلة التي
تشجع التزهير في جميع الاصناف . انخفاض في GA_3 بمقدار عشرة مرات . وهذه
دلائل للتأثير المباشر لهورمونات النمو في التزهير ، إن هذه النتائج مهمة لتوضيح
سبب طبيعية النمو المحدود وغير المحدود . تعطي نباتات ذات التزهير غير
المحدود مثل اصناف فول الصويا في خطوط العرض الشمالية ازهاراً وثماراً في البراعم
الجانبية استجابة للفترة الضوئية الا انها تحافظ على برعم راسي خضري .

وتزهر جميع البراعم بنفس الوقت تقريباً في الانواع محدودة النمو. ويظهر بان مستوى الجبريلين في البراعم يمثل آلية التنظيم والذي يستطيع عرقلة التزهير في البرعم الراسي للانواع غير محدودة النمو او جميع البراعم تحت الايام الطويلة. يمكن تلخيص استجابات الجبريلين كما يلي

- ١- النبات الكلي. تستطيل سلاميات الساق في النباتات القصيرة وراثياً الى طول النباتات الطبيعية اذا عوملت بالجبريلينات. بينما لا تستجيب الاجزاء المقطوعة عادة للمعاملة.
- ٢- تحوي اغلب الاصناف والانواع على مستويات داخلية كافية في الجبريلينات ولا تستجيب للمصادر الخارجية. وتستجيب النباتات المتقزمة وراثياً وخاصة التي يتحكم بها جين واحد الـ GA_1 كمصدر خارجي (Phinney 1956).
- ٣- تحصل الاستجابة للجبريلينات في مدى واسع من التركيز مقارنة مع الاوكسينات التي تحصل فيها استجابة في مدى ضيق من التركيز لذلك فإن المستويات العالية للجبريلينات تكون غير سامة وتكون استجابتها غير سالبة وغير موجبة، ماعدا النباتات القزمية الحساسة. بينما تكون الاوكسينات في تراكيز عالية مبيدات ادغال فعالة.

تختلف الجبريلينات كثيراً في فعاليتها الحيوية. حيث ان GA_7 و GA_4 تكون فعالة في مدى واسع. الا ان GA_4 و GA_7 و GA_9 اكثر فعالة من GA_1 في استطالة السويقة الجينية السفلى للخيار (Paleg 1965).

تستجيب الزهرة الصفراء القصيرة وراثياً الى GA_4 . بينما لا تستجيب الفاصوليا القصيرة وراثياً. الا ان كليهما يستجيب الى GA_7 . هذا وكان GA_4 اكثر فعالية بمرات عديدة من GA_7 على النباتات المختبرة. وتتصف GA_4 و GA_7 و GA_9 بصفة عامة وهي غياب جذر الهيدروكسيل من ذرة الكربون (٧) (شكل ٨-٧). ومن المحتمل ان جميع الجبريلينات تعمل مع الاوكسينات.

الاستخدامات الزراعية للجبريلينات :

كانت التوقعات في الخمسينات عالية بان الجبريلينات سوف تحسن انتاج المحاصيل. وكان تنظيمها للتزهير وتشجيع النمو والانتاجية واضحة. وقد بدأ عدد كبير من الباحثين في العالم دراسات على الجبريلينات لمعرفة تأثيرها على طبيعة

النمو ومكونات الحاصل لعدد من الانواع الاقتصادية . وقد وجد بانها تشجع الانبات والبزوغ في بعض التراكيب الوراثية الا ان تأثيرها على الحنطة كان سالباً وعموماً لم يتأثر حاصل المادة الجافة بالرغم من زيادة ارتفاع النبات (Krishnamoorthy 1975).

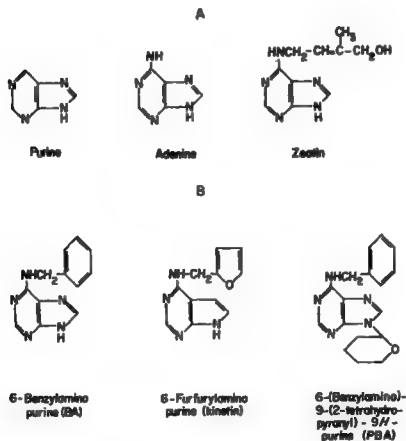
ادى اكتشاف استطاعة الجبريلينات على انتاج نباتات عقيمة ذكرى الى الرغبة في استخدام الجبريلينات في انتاج البنور الهجينة . وقد ادى استخدام GA الى حصول درجة عالية من العمق الذكري في الذرة الصفراء الا ان النتائج لم تكن ثابتة ، فهي لم ترتبط لدرجة كبيرة بالتركيز المستخدم ووقت الرش (Nelson and Rossman 1958) . هنا ولم يصبح استخدام الجبريلينات للحصول على عمق ذكري تطبيقاً شائعاً بسبب ان الاستجابة لم تكن ثابتة .

لقد كان استخدام GA على الصنف 'Thompson Seedless' قصة ناجحة . وادت المعاملة بـ ٢٠٠ جزء بالمليون على *calyptra* او (قنابات الازهار) (*floral bracts*) بانتاج غنياً اكثر حجماً مع تحسين النوعية (Weaver 1972) استخدام الـ GA ايضاً في صناعة المولت *malt* لتنشيط فعالية انزيم α -amylase الذي يؤدي الى تحلل النشا في بنور الشعير الغالية من الجنين (شكل ٧ - ١٠) . وبالرغم من هذه الاستخدامات للجبريلينات فقد بقيت التوقعات عالية لم تنجز الى حد الان ، اساساً بسبب الحقيقة القائلة بان اصناف المحاصيل الحديثة قد استنبطت لطبيعة نموها وانتاجها التي تضمن بشكل مباشر وجود كمية كافية من مستويات الجبريلين لذا فليس من الضروري حصول استجابة لمصادر الجبريلينات الخارجية .

السايتوكاينينات Cytokinins

السايتوكاينينات (الكاينين *kinin*) هو التعبير النموذجي الشامل لمواد النمو التي تحفز الانقسام الخلوي (*cytokinesis*) . لقد تم اكتشاف السايتوكاينينات في الخمسينيات من الملاحظات في مختبر Skoog على انقسام الخلايا في الكالوس النامي من لب التبغ او من لحاء جنور الجزر . وقد اوضح هذا العمل بان هناك نمو قليل لخلايا البرنكيما للانسجة المقطوعة ما لم يضاف عامل الموجود في حليب جوز الهند coconut او مستخلص الخمائر الى وسط المزارع (Miller 1961) . وعند استخدام IAA لوحده الذي اعتبر مسبقاً بانه هورمون نمو سبب استطالة الخلية فقط ولكن حصل نمو سريع للكالوس من انقسام وتوسع الخلايا بوجود IAA مع حليب جوز الهند او مستخلص الخمائر او purine base adenine, 6-aminopurine

وفي سنة ١٩٦١ ثم استخلاص مركب يحفز الانقسام الخلوي من عينة متحللة معقمة من الـ DNA وان المادة الفعالة موجودة صناعياً فقط في عينات معقمة شخصت بانها سادس فيرفيل امينو بيورين 6-furfurylaminopurine واطلق عليها كايينتين kinetine (Miller 1961) وقد عزل السايوكاينين لأول مرة من النباتات الراقية من سويداء (اندوسيرم) في الطور الحليبي لبذور الفرة الصفراء حديثة التكوين في سنة ١٩٦٤ واطلق عليه الزياتين zeatin (Lethan 1968) (شكل ٧ - ١١) .



شكل (٧ - ١١) A - الصيغ التركيبية لقواعد البيورين purine والادينين adenine والزياتين zeatin السايوكاينين الطبيعي . B - ثلاثة سايوكاينينات مصنعة تستعمل بصورة واسعة .

التواجد الطبيعي للسايتوكاينينات

السايتوكاينينات المطلوبة للانقسام الخلوي تنظم وتنسق ايضا عدداً كبيراً من الفعاليات في الشكل الظاهري للنبات (جدول ٧ - ١) . تعتبر الجنور الحديثة والثمار والبنور غير الناضجة والانسجة المغذية (مثل سويداء سائلة) غنية بالسايتوكاينينات . كما وان بنور الذرة الصفراء غير الناضجة و *horse chestnut* والموز والتفاح وجوز الهند (سويداء في الطور الحليبي) مصادر غنية بشكل خاص . وحيث ان السايتوكاينينات لا تنتقل الى هذه الانسجة فهي من المحتمل ان تكون مواقع تمثيلها .

وعموماً تحدث السايتوكاينينات طبيعياً كمقترنات لا يونات السكر والفوسفات (Leopold and kriedemann 1975) ويد *zeatin riboside* السايتوكاينين الرئيسي في جنور الحسك (*Xanthum*) بينما يعتبر *zeating glucoside* السايتوكاينين الرئيس الموعود في اوراق الفاصوليا المسماة *disbudded bean* وان قاعدة البيورين *purine* الكيماوي الشائع الوجود في كل من السايتوكاينين الطبيعي والمصنع (شكل ٧ - ١) .

ايض السايتوكاينينات : Kinin Metabolism

يظهر بان السايتوكاينينات الطبيعية تتمثل بتثبيت سلسلة جانبية تتكون عادة من خمسة ذرات من الكاربون الى جزيئة الادنين . ويعتقد بان السلسلة المتكونة من خمسة ذرات من الكاربون مشتقة من الايسوبرين *isoprene* وهي الوحدة الاساسية في الجبريلينات والكلوروفيل والزانثوفيل وحامض الابسيسيك .

وهناك دلائل تشير الى ان السايتوكاينينات في انسجة الاوراق والبراعم لا تنتقل الى اجزاء اخرى الا انه من المعروف جيداً بان السايتوكاينينات المنتجة في الجنور تنتقل في النبات خلال التدفق النخعي (Wareing et al. 1977) . وتمعد البراعم مصبات للسايتوكاينينات اقوى من الاوراق (Phillips 1965) .

اختبار السايتوكاينينات : Kinin Assay

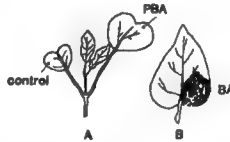
بسبب صعوبات التحليل الكيماوي للتركيزات القليلة جداً التي تتواجد طبيعياً بقي التحليل والقياس الكمي للسايتوكاينينات لوقت قريب مقتصراً على الطرق

الحيوية (البايولوجية) وفي الوقت الحاضر يمكن استخدام الكروموتوكرافي بفعالية لفصل السايتوكاينينات .

لقد تم شرح خمسة اختبارات حيوية تعكس فعالية الكاينين بزيادة كتلة خلايا الانسجة البرنكيمية (Weaver 1972) ومن أكثر الاختبارات استخداماً وشيوعاً هو اختبار زراعة انسجة اللبغ. أدى هذا الاختبار الى تقدم حالة معرفة السايتوكاينينات بمستوى معرفة الاوكسينات الذي اظهره اختبار انحناء الشوفان .

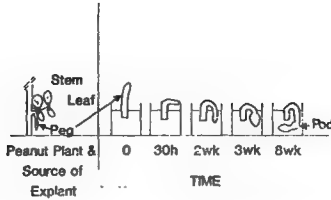
الاستجابات الى السايتوكاينينات : Responses to kinins

تحدث السايتوكاينينات استجابات عديدة . الا انها تعمل بالتعاون مع الاوكسينات وعادة مع هورمونات اخرى (جدول ٧ - ١ ، شكل ٧ - ١٣) . يعتقد بان البراعم العرضية تتحفز بتعاون الاوكسين والسايتوكاينين (Heide



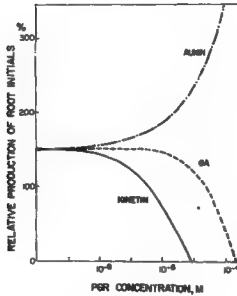
شكل (١٣ - ١١) تأثير السايتوكينينات على النمو والتكوين -A- صبغت النقطة اليمنى للفصل بمادة PBA بمقدار وسبب زيادة نمو الفاق . B- معاملة النصف الايمن للورقة B بمادة BA . تمثل المنطقة الغضراء (الساكنة) جذب للعناصر وتأخير الشيخوخة (Weaver 1972) ..

(1972). وقد يكون لانتقال السايتوكاينين من الجذور تأثير واضح على تحفيز النمو الجديد من البراعم الجانبية في اباط الاوراق الساكنة بسبب السيادة القمية . ومن الواضح بان البراعم الجانبية ذات محتوى قليل من السايتوكاينين بسبب ان نموها يتحفز باستخدام مصدر خارجي (Phillips 1965; Schaeffer and Abdul-Baki 1973) وكانت الحاجة للسايتوكاينينات لتكوين براعم عرضية واضحة على اجزاء نبات (*Convolvulus arvensis*) bindweed (Torrey 1958) دى وضع الكاينيتين kinetin على قطع الساق الى تثبيط تكوين



شكل (٧ - ١٣) نمو وتكوين اجزاء نباتية في الطلام من مهاميز حديثة (pegs) لفستق العقل في وسط حاوي على الكاينيتين (kinetine) والـ NAA بتركيز (٠.٥ جزء بالمليون). وقد حدث الانحناء بدرجة ١٨٠ ونمو الثمرة فقط عند اضافة الهرمونين الى الوسط (Ziev and Zamski 1975)

نشوء الجذر بشدة واكثر من تأثير الجبريلين (شكل ٧ - ١٤). بينما ادى الاوكسين الى تحفيز نشوء الجذور (Fernqvist 1966).



شكل (٧ - ١٤) ابتداء نمو الجذور على اجزاء من الساق وتاثر ذلك بكميات الاندول خليك والجبريلين والكاينيتين (Fernqvist 1966).

يشجع الجبرلين والكاينين انبات بذور بعض الانواع مثل الخس والنفل الايض (Carr 1972) . تنبت بذور نبات *witchweed* وهو دغل متطفل اذا استلمت محفزاً من النبات المائل وقد ذكر بان هذا المحفز هو الكاينين (Worsham et al. 1959) . ان دور الكاينين في احتفاظ الكلوروفيل وتنسيق الاحماض الامينية واحتفاظ البروتين في الاوراق والتي جميعها يشير الى تاخير الشيخوخة ولها اهتمام خاص من قبل علماء فيولوجيا النبات (Quinlan and Weaver 1969) (شكل ٧ - ١٢) . ان البحث عن وسائل فعالة لتوفير مصادر خارجية للكاينين او تحسين ايصال الساييتوكاينينات من الجنور لتأخير الشيخوخة وزيادة نواتج التمثيل الضوئي يمكن ان تصبح مجالاً خصباً للبحث في المستقبل .

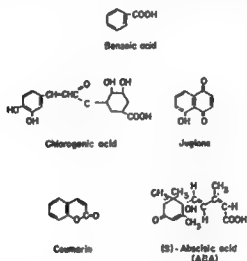
الاستخدامات الزراعية للكاينينات :

اقترح Weaver سنة ١٩٧٢ استخدامات عديدة للكاينينات وهذه تشمل على زيادة عدد الثمار في العنب وتحسين حجم وشكل صنف *Delicious* تعاني بذور الخس من السكون الثانوي في التربة بدرجات الحرارة العالية (٢٥ م) الا ان الانبات يزداد عند معاملة البذور بالكاينتين *kinetin* , الاكثر فعالة من *benzyladenine (BA)* . وعموماً فان استخدام الكاينين في انتاج المحاصيل لازال في مراحل التوقيع .

اضاف اكتشاف الساييتوكاينينات ابعاداً جديدة لمربي النبات . ونباتات ثنائية الكروموسوم من خلايا جسمية واجنة من بيوض مخصبة ونباتات من انسجة مستخلصة قد وفرت وسائل لتحقيق اهداف مربي النبات . والتي لم تنتج تحقيقاً مسبقاً . وادى اكتشاف تأثير تراكيز الكاينين المختلفة في وسط المزارع من مراحل حرجية معينة في دورة نمو نقل الانسجة الحية على احداث تغييرات غير نووية تنتقل وراثياً الى فتح الطريق لاحتمالات مشوقة في الهندسة الوراثية . وباستخدام هذه التقنية تم عزل تراكيب وراثية جديدة من البطاطا انتجت حاصل عالي معنوياً في الاختبارات الحقلية (Shepard et al. 1980) .

مثبطات النمو : Growth Inhibitors

تؤدي عادة أغلب مواد النمو الى تحفيز وتنسيق النمو والتكوين في الشكل الظاهري للنبات . وتوجد مجموعة مختلفة من مواد النمو الاخرى تشترك في علاقات النمو تؤدي عادة الى تثبيط النمو تسمى مثبطات النمو . ان اكثر مثبطات النمو تواجداً هي المركبات ذات الرائحة او النكهة القوية **aromatic compounds** مثل الفينولات واللاكتونات . كما وان بعض القلويات وبعض الكحولات والاحماض العضوية والدهنية وحتى الايونات المعدنية يمكن ان تعمل كمثبطات (Addicott and hyon 1969; Abeles 1972) ولأجل اجراء مناقشة جيدة او ملأمة فقد قسمت مثبطات النمو الى ثلاثة مجاميع (شكل ٧ - ١٥ - ١٦) -

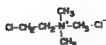


شكل (٧ - ١٥) الصيغ التركيبية للهرمونات المثبطة للنمو .

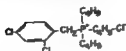
- ١- الفايتهورمونات . مثل التريينودزات **Terpenoids** ومنها (ABA) . والـ **ABA-glycose (glycoside)** الموجود بصورة مقيدة وهو ذو فعالية مشابهة لفعاليات الـ **ABA** .
- ٢- المثبطات الطبيعية الاخرى . وتشمل على مشتقات حامض الفينوليك **phenolic** والبنزوك **benzoic** واللاكتونات **lactones** . وهي لا تشابه هرمون الـ **ABA** وهي نواتج عرضية في العمليات الايضية وعادة تتواجد



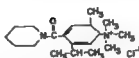
Succinic acid-2,2-dimethylhydrazide (SADH; daminozide)



(2-Chloroethyl) trimethyl ammonium chloride (Chlormequat chloride; CCC)



2,4-Dichlorobenzyltriphenylphosphonium chloride (Paclob-D)



Ammonium (5-hydroxyisovaleryl) trimethyl chloride ammonium carboxylate (Ama-1618)



2-chloro-9-hydroxyfluorene-9-carboxylic acid; morphactin; chlorofluorel (ISO)



9-hydroxyfluorene-9-carboxylic acid; morphactin; fluorel (ISO)



1,2-Dihydro-3,6-pyridazinedione (NH; maleic hydrazide)



Ethylene



Ethephon

شكل (٧ - ١٦) مثبطات النمو المصنعة تشمل على الاليلين والايتيون ethylene وهو مركب يزيل الاليلين ببطء .

بكميات كبيرة وقد تلعب دوراً مهماً في تثبيط علاقات النمو والتكوين مثل سكون البنور في بعض الانواع (Wikins 1969) .
٣- المثبطات المصنعة Synthetic Inhibitors . يؤدي عدد كبير من المركبات المصنعة فعالية تثبيط النمو . هذا وان قسماً منها يستخدم للأغراض الزراعية . تعتبر املاح الامونيوم الرباعية (Amo-1618) و Phosfon-D معوقات نمو growth retardants (شكل ٧ - ١٦) . ويعد succinic acid 2,2-dimethyl hydrazide (SADH) او دامينوزايد (daminozide)

مثبط نمو مصنع اخر مهم . ان مثبط النمو chlormequat chloride (CCC) متوفر تجارياً ويستعمل بشكل واسع لتقليل الاضطجاع في الكتان وبعض محاصيل البنور الأخرى . واستخدم مؤخراً لتنسيق معدل نمو تفرعات الحنطة والشعير . وقد اضيفت مؤخراً المورفوككتينات morphactins و choroflurecol و flurecol الى قائمة معوقات النمو . ويعتبر حامض الكلورو chloro acid الصورة الأكثر فعالية لمركبي المورفاكتينات (شكل ٧ - ١٦) .

التواجد الطبيعي لمثبطات النمو :

لقد تم عزل مثبط نمو فعال جداً من ثمار القطن في بداية الستينات (Ohkuma et al. 1963) واطلق عليه (ابسيسين ٢) abscisin II . وقد عزل مركب مشابه في انكلترا من اوراق نباتات الـ sycamore وسمي دورمين dormin (Cornforth et al. 1965) . وقد وجد فيما بعد بان هذين المركبين متشابهين كيميائياً وحيوياً . واتفق على تسميته حامض الابسيسيك abscisic acid او ABA .

لقد تم عزل هورمون ABA من درنات وبراعم وثمار واجنة وسويدها واغلفة بذور حوالي ٥٠ - ٦٠ نوعاً من النباتات المشبية والخشبية الحولية والمعمرة (Walton 1980) . ومن المعقول الاستنتاج بان ABA مثل IAA متواجد دائماً في النباتات الراقية . يتواجد عادة الـ ABA في البلاستيدات الخضراء ولكن عند تعرض النباتات لشد يبيئي فان الهورمون ينتقل الى عضيات اخرى (Fenton et al. 1982) وهو فعال في تنظيم الثغور .

كما ان المركبات المناظرة للـ ABA تنتشر بصورة واسعة الا انها ليست فعالة حيوياً مثل الـ ABA (Walton 1980) . ويتواجد حامض الفيسيك phaseic acid في بذور الفاصوليا (Phaseollus multiflorus) . وان الثيوسبيروني theospirone مثبط طبيعي وهو المكون للطعم في اوراق الشاي .

تتواجد المركبات الثانوية كالفينولات والفينولات واللاكتونات بتراكيز كافية لخزنها كغذاء احتياطي (اكثر بكثير من مستوى الهورمون) . يعد الجوكولون Juglone من اللاكتونات (شكل ٧ - ١٥) وهو يتواجد بتراكيز عالية في الطبقة

الخارجية للغلاف الثمري (mesocarp) وجنور الجوز الاسود (*Juglan nigra*)
(L. وان نبات (*Curcubita foetidissima*) Buffalo gourd دغل متاظم
للمناطق شبه الجافة يخزن كميات كبيرة من الكاربوهيدرات بالاقتران مع مادة
سامة غير مشخصة في الجنور الودية اللحمية . وقد ادى الماء المستخلص الحاوي
على مركب كيميائي قاتل لنباتات الطماطة والخس الصغيرة الى منع انبات بنور
الفجل والخس بصورة كاملة (Gardner and Reeves 1980) . ويبدو من
المحتمل بان مشيط النمو هنا يقلل التنافس مع الانواع الاخرى في بيئة الجنور
rhizosphere (allelopathy) مما يؤدي الى نجاح تواجد نبات ال buffalo
gourd في النظام البيئي ومن المحتمل بان المركبات الثانوية هي
(allelopathic) في انواع عديدة تعمل على التعاقب الطبيعي للنبات (Rice
1974). هنا وقد تعمل هذه المركبات على الوقاية من الحشرات والحيوانات اكلة
النباتات herbivore feeders وربما من مسببات الامراض . حيث من المعروف
بان عدد من المركبات الثانوية تعمل على تثبيط الجراثيم .

ايض مشبطات النمو Metabolism of Growth Inhibitors

يعتبر ال ABA من التربينات terpenoid كالجبرلين والسايتوكالينين
والكلوروفيل والكاروتين والزنثوفيل . ومثل هذه المركبات يكون تمثيل ال ABA
من خلال مسار حامض الميفالونيك mevalonic acid والايسوبريني isoprene
(شكل ٧-٨) . وقد وجد بان التمثيل ينتج من اكسدة بعض الزانثوفيلات مثل
violaxanthin (Milbörrow 1974) . يحفز الضوء تواجد اكثر اشكال ال ABA
فعالية وهو ال cis-trans

ويظهر بان موقع التمثيل هو في البلاستيدات وخاصة البلاستيدات الخضراء .

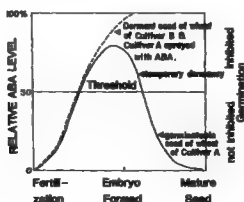
ومد تم اعاقه فعالية ال ABA بواسطة (١) التحويل الانزيمي لل ABA
المسمى 2-trans (صورة غير فعالة) . (٢) اكسدة حامض الفيسيك phasicc
acid . أو (٣) الاقتران مع السكريات لانتاج الكلايكوسايدات glycosides .
وخاصة الكلوكوسايدات glucosides .

وكباقي الهرمونات فان الاشكال المقيدة تكون ذات فعالية قليلة او معدومة
ينتقل ال ABA الحر بسهولة خلال النبات ^{٨٠} . ال IAA . الا انه ينتقل بمعدلات
اعلى .

يتم تمثيل الفينولات بمسار حامض shikimic باستخدام phenylalanine أو tyrosine (Lepold and Kriedemann 1975). هذا ويبدو ان حامض الساليسيك cinnamic هو اصل بعض مشبطات البنزويك benzoic الكومارين coumarin عبارة عن لاكتون يشتق من فينوليرويين (1-aminocyclopropane -1- carboxylic acid) phenylpropane

الاستجابات لمشبطات النمو

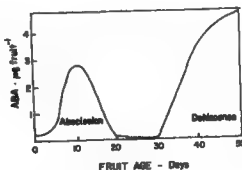
تعيق مشبطات النمو الطبيعية أو المصنعة النمو والتكوين . كما يظهر ذلك من اختبار النمو المستقيم القياسي . كما انها تلعب دوراً مهماً في تنسيق المظهر الخارجي وبقاء النباتات . وبدون السكون أو توقف النمو الفعال . فان البذور أو البراعم قد تنبت أو تستأنف النمو وتموت بوقت لا تستطيع تحمل درجات الحرارة أو البرودة أو الجفاف وتسمح آلية السكون في البذور والبراعم الى تأخير النمو الجديد ويقائها في حالة راحة وان النمو يستأنف فقط عندما ينخفض مستوى الـ ABA عند توفر ظروف ملائمة لاكمال دورة الحياة (شكل ٧ - ١٧) . وتفقد الانواع النفضية Deciduous اوراقها بالانفصال مسببا السكون الثانوي الذي ينظم بايام الخريف القصيرة طبيعياً . وتكون براعم البطاطا ساكنة عند نضج الدرناات بسبب وجود ABA ولا تنبت (تنمو) حتى عندما تكون التربة المحيطة والظروف المناخية ملائمة للنباتات (Addicott and Lyon 1969) .



شكل (٧ - ١٧) مخطط يمثل تراكم الـ ABA في الجنين وملكته بالقدرة على الانبات خلال تطور البذور

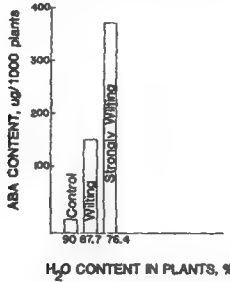
وينظم حث اليات السكون هذه بالمشتطات الطبيعية وخاصة ال **ABA**. يفقد السكون عادة خلال الشتاء نتيجة للتضيد , **stratification** (المعاملة بدرجات حرارة منخفضة) أو احياناً بمرور الوقت المناسب فقط . وينخفض انتاج الجبريلين بالتعرض لدرجات الحرارة المنخفضة . والذي ربما يكون العامل المسبب لاعادة النمو بسبب التأثير على ال **ABA** الذي يتوقف عمله بسبب النسبة العالية من الجبريلين للـ **ABA** (انظر الفصل التاسع) . لقد تم انتخاب اغلب اصناف المعاصيل لتكون خالية من السكون .

تكون الثمار طبقة انفصال ايضاً بسبب حدوث اضرار **injury** أو بسبب العمر وتسقط بسبب تراكم ال **ABA** والتحفيز على الانفصال (شكل ٧ - ٨) . تحوي قرات ال **lupine** المصابة بمرض على **ABA** مرتين ونصف بقدر احتواء القرات السليمة (Walton 1980) والذي يسبب انفصال الثمار المريضة . ان تراكم ال **ABA** في البراعم الجانبية دلالة على اشتراكه في السيادة القيمة . كما يشترك ايضاً في شيخوخة وسقوط الثمار مثل ثمار القطن . يكون توزيع ال **ABA** في ثمار القطن **Biomoded** , أي حصول ذروة ارتفاع اولي للـ **ABA** مباشرة بعد الاخصاب . ثم يبدأ انخفاض امتلاء الثمرة نتيجة تحفيز تكوين طبقة الانفصال . وتحصل ذروة الارتفاع الثانية عند الشيخوخة (التعمير **aging**) ثم تسقط الثمرة (تفصل) (شكل ٧ - ٨) . ويمكن التخلص من التأثيرات المعقدة للـ **ABA** بالمعاملة بالجبريلين .



شكل (٧ - ٨) مستويات ال **ABA** في ثمار القطن وعلاقة ذلك بعمر وانفصال الثمار وانفتاحها (Davis 1988)

اصبح تراكم الـ ABA وغلق الثغور عند تعرض الاوراق الى الشد الرطوبي (شكل ٧ - ١٩) موضوعاً مهماً للمختصين بعلم فسلجة النبات . ويؤكد تكوين الـ ABA عند غلق الثغور صحة الفرضية القائلة بان الـ ABA يعمل كمحرك *trigger* لالية تنظيم الثغور (Dorffling 1972) . وهو يطلق من البلاستيدات الخضراء الى خلايا البشرة *epidermis* اثناء الشد الرطوبي .



شكل (٧ - ١٩) العلاقة بين محتوى باهرات البؤلاء النابالة من الـ ABA والمحتوى المائي للانسجة (Milborrow 1967)

يستطيع الـ ABA تثبيط اطلاق البروتون وامتصاص البوتاسيوم عند المستوى الخلوي (Cocucci and Cocucci 1977) . وهو يشبط فعالية الانزيمات بشدة مثل انزيمات التحلل التي يحفزها الجبريلين في سويداء الشعير (Addicott and Lyon 1969) . وكذلك يشبط التزهير في نباتات الايام الطويلة المعرضة لايام قصيرة (Evans 1966)

وهناك مثبط طبيعي اخر شائع التواجد هو حامض الكلوروجينيك Chlorogenic acid . ويعتقد بان منظم النمو هذا مضاد للشفن الذي تسببه البكتيريا في جروح النبات .

الاستخدامات الزراعية لمثبطات النمو

يوجد عدد من المثبطات المصنعة (شكل ٧ - ١٦) التي تشمل على معوقات النمو وهي مشخصة ومتيسرة تجارياً للاستخدام . ان التأثير الرئيسي لهذه المثبطات هو تقصير طول السالمة وارتفاع النبات وعادة يقلل الاضطجاع (الرقاد) وخاصة في محاصيل الحبوب والكتان . وعادة لا تنخفض المساحة الورقية واعتراض الضوء وانتاجية الحاصل للنباتات المعاملة . لقد قلة المساحة الورقية للنباتات البنجر السكري بمقدار ٢٥ - ٤٠ % بسبب تكوين اوراق صغيرة الحجم عند رش النباتات بمحلول PP 333 بتركيز ٤٠٠٠ مايكروغرام / مليلتر (Jagard et. al. 1982) وتعد مركبات Daminozide, (SADH), و chlormequat (CCC) والم Phosfon-D, و morphactins معوقات نمو فعالة (شكل ٧ - ١٦) . ادى رش نباتات فول الصويا بمركب غير موسوم BTS 44584, unlabeled الى تقليل ارتفاع نباتات الصنف 'Williams' (من مجموعة النضج الثالثة) بمقدار ٢٠ سم عند استخدام ١١ كغم / هكتار في مرحلة النمو ٧٤ الا انه لم يزيد الحاصل أو يقلل الاضطجاع (Gardner 1980) . وبالحقيقة قد تفاقم الاضطجاع بالمستويات العالية لمنظم النمو هنا . اما ال Morphactins فهي ذات فوائد عند استخدامها بمستويات عالية ولا تسبب اضراراً للنبات وتوسع الفترة الفعالة للتقزم (Schneider 1970, 1972) . وعلاوة على احدث التقزم فانها تحث نمو البراعم الجانبية وتؤخر الشيخوخة . وتسبب معوقات النمو ايضاً تلوين الاوراق بلون اخضر غامق , ويظهر بان ذلك بسبب زيادة محتوى الكلوروفيل .

يسمى مثبط النمو Daminozide تجارياً Kylar (شكل ٧ - ١٦) . وهو يستخدم على اكثر من ١٤٠.٠٠٠ هكتار سنوياً في حقول فستق الحقل النوع المواد في جنوب الولايات المتحدة الامريكية . وليس الغرض من استعماله تقليل الاضطجاع بل لتقليل النمو الخضري المتأخر للسيقان لاجل تحويل اكثر نواتج التمثيل الى البنور . كما ان تقليل السيقان يسهل عملية الحصاد . وقد ازداد حاصل القنرات للصنف المتأخر 'Dixie Runner' ذو السيقان المدارة زيادة معنوية برشها بال Kylar في مرحلة نشوء القنرات (N'Diaye 1980).

يثبط Regim-8, 2,3,5-triiodobenzoic acid, أو (TIBA) انتقال ال IAA (Galston 1947), ويسبب تكوين اوراق قائمة (تأثير شجرة عيد الميلاد (Christmas tree effect), وبذلك يتكون لفول الصويا كساء خضري Canopy

أكثر فعالية في اعتراض ضوء الشمس (شكل ٧ - ٢٠) . هذا وقد يحفز ويغير تركيب الكساء الذي بدوره يزيد عدد القنرات وحاصل البذور (Greer and Anderson 1965) . لا تساند بيانات باحثين آخرين فرضية تحسين الكساء، وبديل من ذلك اقترحوا بأن المثبط يحسن توزيع الثمار الناتج من تقليل النمو الخضري (Tanner and Ahmed 1974) . وقد توقف استخدام مركب Regim-8 ربما بسبب عدم تغطية التكاليف وعدم ثبات الزيادة في الحاصل .



شكل (٧ - ٢٠) الكساء الخضري للنبات قول الصويا صنف 'Hawkeye' غير المعاملة (العليا) مقارنة مع النباتات المعاملة بـ TIBA السفلى . لاحظ التغير الحاصل في هندسة الكساء (Greer and Anderson 1965)

يستخدم في المملكة المتحدة مركب الـ CCC بصورة واسعة على الشجر والحطبة لتنظيم معدل نمو التفرعات . ويتم إيقاف التفرعات الأولية والثانوية بصورة مؤقتة لمنع السيادة القمية على التفرعات في الترتيب الأعلى وبذلك يتوزع النمو والحاصل بتساوي أكثر ضمن التفرعات ويزداد الحاصل الكلي .

وقد استخدمت مسقطات الاوراق *defoliants* للمساعدة في الحصاد الميكانيكي أو الآلي للقطن . وقد استخدم مركب *Endothall* تجارياً وأخيراً تم إطلاق مركب آخر فعال يسمى *Harvade* . ومن المحتمل بأن *maleic (MH) hydrazide* انجح مشط استخدم لمقاومة التفرع (السيقان الجانبية) في التبغ . وقد استخدم MH بصورة أساسية في جميع المساحة المزروعة بالتبغ في الولايات المتحدة . وإذا لم يعامل التبغ بعد قطع النورة الزهرية فإن البراعم الجانبية تتحرر من السيادة القمية وتمطي سيقاناً بسرعة بحيث تظل العناصر الغذائية من الاوراق الجاهزة للحصاد ميبأ انخفاض نوعية اوراق التبغ التسويقية .

الايثيلين Ethylene

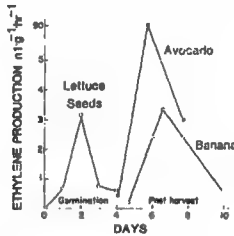
ان انبعاث أو إطلاق الاثيلين من الثمار الناضجة التي يكون فيها التنفس مرتفع *climacteric* (الثمار التي تبلغ النروة في النضج مثل التفاح والافوكادو *avocado* والموز والثمار الحجرية) معروف منذ زمن بعيد (*Pratt and Goesch* 1964) . يحفز خلط الثمار الناضجة مع الثمار الخضراء نضج أكثر انتظاماً بسبب وجود الاثيلين . وهو غاز ينتقل بسهولة بالانتشار من الثمار الناضجة الى الخضراء . وهناك مثل قديم يقوم (تفاحة رديئة تلتف البرميل) ويظهر بان له اساس معقول .

وقد يتطير عدد من المركبات من انسجة النبات ولها فعالية كالاثيلين . الا ان الاثيلين قد اظهر فعالية مقدارها ٦٠ - ١٠٠ بقدر فعالية احد هذه المركبات وهو البروبيلين (*Pratt and Goeschi* 1969) *propylene* . الاثيلين غاز ذو جزيئات صغيرة (شكل ٧ - ١٦) . وقد جعل صغر حجم جزيئات الاثيلين وصورته الغازية حالة فريدة كيميائياً وفسيولوجياً بين الفايتهورمونات (*Abeles* 1973) . يكون انتشار الاثيلين غير حيوي في انسجة النبات وبما انه يفقد كغاز فلا ضرورة لوجود نظامي ازالة السموم والانتقال . بالمقارنة نجد ان الهورمونات الاخرى قد طورت نظامي ازالة السموم والانتقال .

التواجد الطبيعي للاثيلين

علاوة على التركيز العالي للاثيلين في الثمار ذات مرحلة النضج الحرجة climacteric (تنفس عالي) (شكل ٧ - ٢١) . فانه يتواجد الى حد ما خلال اجزاء النبات التي تشمل على الاوراق والسيقان والجذور والازهار والثمار والبذور (Abeles 1973) .

وللاثيلين فعاليات عديدة فهو يزيد من سرعة بعض العمليات ويؤخر عمليات اخرى (جدول ٧ - ١) . ويرتبط انتاج الاثيلين الى درجة كبيرة مع توفير الاوكسجين (Leopold 1972) . كما ان المعاملة بـ 2,4-D تؤدي الى زيادة محتوى الاثيلين في الانسجة بمقدار ٥٠ مرة (Burg and Burg 1966) . وفي الحقيقة قد يعود انتاج الاثيلين لاسباب عديدة تعزي الى الاستجابة للـ 2,4-D .

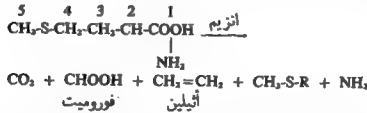


شكل (٧ - ٢١) انتاج الاثيلين (ethylene) في بطور الغرس النابتة ولثمار avocado والموز بعد الحصاد (Leopold and Kriedemann 1975)

ترتبط التراكيز العالية للاثيلين في الثمار ذات مرحلة النضج الحرجة بمعدلات تنفس عالية واطلاق ثاني اوكسيد الكربون (شكل ٧ - ٢١) . وقد لوحظ انتاج عالي للاثيلين في الانسجة المعرضة للشد والليادات الصغيرة . ويختلف تركيز الاثيلين في الثمار والانسجة الاخرى اعتماداً على البيئة . الا ان الانسجة غير الحية تكون خالية من الاثيلين .

أيض الاثيلين Ethylene Metabolism

ان اصل الاثيلين (المركب النشئ) كان ولا يزال محيراً لحد ما. هنا وقد اقترح عدد من المركبات المقولة . وهي تشمل على حامض البايروفيك (pyruvic acid (pyruvate), و acetate, و formate, و acrylate, و linolate, و ethanol, و (Abeles 1972) ان اكثر المركبات قبولاً هو الميثايونين methionine والذي يتحلل كما يلي :



ان قبول الميثايونين كاصل للاثيلين يولد بعض المشاكل حيث ان التركيز الطبيعي غير كافٍ لتجهيز توليد الاثيلين للحد الذي يحدث في الثمار ذات مرحلة النضج الحرج والتي قد تحوى على تركيز اثيلين ٣٠٠٠ مرة بقدر الثمار التي لاتمر بمرحلة النضج الحرجة. (Abeles 1972).

الاستجابات للاثيلين

لاتقتصر فعالية الاثيلين على الاستجابات الفسيولوجية بعد الحصاد بل من المعروف ان فعاليته تشمل على عدد من الاستجابات تتراوح من الانبات الى الشيخوخة (Burg 1962; Abeles 1972; Leopold 1972).

تحدث زيادة كبيرة في محتوى الاثيلين خلال نضج الثمار ذات مرحلة النضج الحرجة (شكل ٧ - ٢١). والثمار التي بمرحلة نضج حرجة (مثل البرتقال والزرة الصفراء وفق الحقل) لاتظهر ارتفاع يذكر في محتوى الاثيلين. ويحصل ارتفاع كبير في انتاج الاثيلين في البادرات في اليوم الثاني والثالث من عمرها خلال الانبات (شكل ٧ - ٢١).

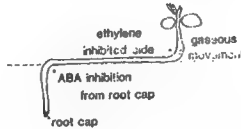
ويمتد بأن ظهور الاثيلين في البادرات الحديثة يؤدي الى زيادة قطر الساق وتكوين نباتات قوية ويحفزها على البقاء. كما ان تعكف الرويشة (Plumule hook) في بادرات نباتات ذات الفلقتين هو استجابة للاثيلين (Burg et. al. 1971). هذا

ويؤدي تعريض البادرات الى الضوء الاحمر الى استقامة الرويشة ، ويسمى تأثير الاثيلين على نمو البادرات بالاستجابة الثلاثية (Pratt and Goesch 1969)

- triple response

١- تقليل الاستطالة (٢) زيادة القطر (٣) عدم الانتحاء الارضي (ageotropic) قبل التعرض للضوء . ويبدو بان هذه الاستجابات تحفز البزوغ والبقاء لبادرات ذات الفلقتين ، وخاصة في انواع الانبات الهوائية

أن الكثير من الاستجابات التي كانت تعزى في السابق الى الاوكسينات تعزى الآن الى الاثيلين مثل الانتحاء الارضي (geotropism) . والانتحاء الضوئي (phototropism) . واستناداً الى نظرية الاثيلين . يتولد الاثيلين في الجانب السفلي من الساق الذي يكون بوضع افقي بسبب انتقال الاوكسين الى الجانب السفلي استجابة للجذب الارضي . وينتشر الاثيلين الى الاعلى كغاز ويشبط نمو الجزء العلوي للساق . وهكذا تحصل على استجابة انتحاء الى الاعلى (شكل ٧ - ٢٢) .



شكل (٧ - ٢٢) استجابة الانتحاء الارضي لبادرة وضمت اقياً مثيراً الى انتقال الـ ABA من قنوسه الجذر وانتاج الاثيلين وتثبيط الجانب العلوي مسبباً انحناء .

ان تثبيط انحناء النمو بوجود ثاني اوكسيد الكربون والايثيلين المشبط دلالة قوية لنظرية الاثيلين (Wheeler and Salisbury 1980) . وتحفز التراكيز العالية للايثيلين النمو الافقي للساق وتؤدي زيادة تراكيز الاثيلين في منطقة الجذور الى تثبيط نمو الجذور . ويمكن التخلص من هذا التثبيط بزيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون بمستويات معتدلة (Radin and Leomis 1969) . وربما يوضح هذا ماقد ذكر احياناً بان زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون تحفز نمو الجذور .

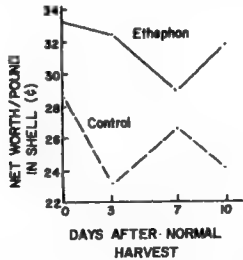
لقد تبين بان انتاج الاثيلين يرتبط بسرعة الشيخوخة في الانسجة المريضة (ketring and Melouk 1980) . كما تنفصل وتسقط الاوراق المصابة

بمرض. ويؤدي الرش بمادة $AGNO_3$ وهو مضاد لعمل الاثيلين الى زيادة الاحتفاظ بالاوراق في صنف فستق الحقل (Tamnut 75)

لوحظ بان الشد الفيزيائي المعوق للنمو يسبب زيادة حادة في الاثيلين في الانسجة المعرضة للشد. وقد توضح معوقات التربة وانتاج الاثيلين النمو الافقي (diageotropic) لمدقات الـ *gynophores* في ازهار فستق الحقل (المهاميز *pegs*) وهو يمثل انتحاء ارض موجب لحين اختراقه التربة. الا ان ارتباط الاثيلين مع هذا النمط من النمو في مدقة فستق الحقل لم يتم تأكيده الى حد الآن. ويزيد الاثيلين قدرة انبات البذور الساكنة (مثل بنور فستق الحقل) وتحفيز انبات بنور دغل *Witchweed* (Eplee 1975). ومن الضروري معاملة بنور بعض اصناف فستق الحقل بالايتيفون *ethephon* (وهو مركب يطلق الاثيلين ببطى *2-chloroethylphosphonic acid*) لحصول انبات جيد.

الاستخدامات الزراعية للاثيلين

ان استخدام الاثيلين في الزراعة محدود جزئياً بسبب ان معاملة الحقل بالفاز عملية غير تطبيقية. الا ان هناك منتج سائل تجاري يسمى *ethephon* متيسر الآن ويطلق الاثيلين ببطء للنباتات المعاملة. وقد ادى استخدامه على الجوز *walnut* في الاسراع بالشيخوخة وسقوط الثمار. وتوفير حصداً مبكراً مع تحسين نوعية الجوز (شكل ٧ - ٢٣).



شكل (٧ - ٢٣) تأثير الايتيفون *ethephon* على نوعية لب الجوز *walnut* المسبب الى انتفاع مبكر

وقد استخدم الايثيفون بشكل فعال لاعاقة نمو بادرات التنغ في المشاتل (Kasperbauer and Hamilton 1978) . ففي المواسم الممطرة يكون نمو البادرات سريع جداً بحيث يتمنى المحافظة على شتلات جديدة لزراعتها في الحقل . الا ان المعاملة بالايثيفون قد عرقل نمو البادرات بما يعادل عشرة ايام . ويؤدي معاملة البنور بالايثيفون الى كسر طور السكون وتحسين الانبات .

تسبب المستويات العالية للاثيلين في الجو الى عدم انتظام فسيولوجي للنبات (حصول نمو غير طبيعي) مثل ظهور الحوامل الزهرية للخس (Morris et al. 1978) . في هذه الدراسة التي ظهرت فيها حوامل زهرية لنباتات الخس في منطقة كلفورنيا كان مصدر التلوث بالاثيلين من الغازات الصادرة من محرك الرافعة الشوكية . كما ان الثمار الناضجة المخزونة مع الخس في مخازن بادرة تعد مصدراً للاثيلين ايضاً .

الخلاصة

تسمى المواد الكيميائية التي تتواجد بتركيزات قليلة جداً فائتوهورمونات وهي تنظم نمو وتكوين النبات وتنسيق الشكل الظاهري له . وقد يكون هناك نقص وراثي في النبات لهورمون معين (مصدر داخلي) فيسبب للمعاملة الخارجية بالهورمون (مصدر خارجي) تقسم منظمات النمو الى خمسة مجاميع هي (١) الأوكسينات (٢) الجبريلينات (٣) السايتوكاينينات (٤) مثبطات النمو (٥) الاثيلين . وهناك دلائل حول وجود هورمون التزهير . الا انه لم يعزل او يشخص لحد الآن . وهناك مواد طبيعية اخرى لها فعالية الهورمونات (مثل triacontanol) وقد عزلت وشخصت الا انها لاتقع في المجاميع الخمسة السابقة . وعادة يكون عضو تشثيل هورمون النمو غير عضو الاستجابة له . ويتطلب ان ينتقل الهورمون بين العضوين ماعدا الاثيلين الذي ينتقل بالانتشار الغازي . وتكون الأوراق الحديثة والبراعم القيمة ذات محتوى عالي من الأوكسين . بينما تكون الجنور الحديثة ذات محتوى عالي من الجبريلينات والسايتوكاينينات . وعادة تكون الثمار غنية بجميع الهورمونات .

ان عدد من المركبات المصنعة المماثلة لمنظمات النمو منتجة ومتداولة تجارياً كمبيدات ادغال وخاصة الأوكسينات (مثل 2,4-D , 2,4,5-T , picloram وبعض مشتقات حامض البنزويك) . وقد تم انتاج عدد من مثبطات النمو من مثبطات النمو او معوقات النمو صناعياً للاستخدامات الزراعية [مثل (CCC) chlormequat و (SADH) daminozide و triiodobenzoyl acid و (TIBA)] . يطلق الايثيفون الاثيلين ببطء ولا يستخدم على نطاق تجاري . وماعدا بعض الحالات فان اصناف المحاصيل الحديثة بكل وضوح قد انتخبت لمستويات عالية من الهورمونات الداخلية وهي كافية لاعطاء استجابة قليلة او معدومة للمصادر الخارجية للأوكسينات والجبريلينات والسايتوكاينينات ومثبطات النمو والاثيلين . ولا تشمل هذه الحالة على المحاصيل البستانية العديدة ذات دورات التربية الطويلة .

تختلف استجابة اعضاء النبات الى التراكيز المختلفة للهورمونات النباتية . وتتحفز السيقان بالأوكسينات في مدى واسع من التراكيز . بينما تثبط الجنور في مدى ضيق . وتستطيع سلاميات بعض انواع النباتات المتقدمة الى الارتفاع الطبيعي اذا عوملت بالجبريلين في مدى واسع . وعادة تعمل الهورمونات سوية لتحفيز الاستجابة بدلاً من عملها بشكل منفرد .

يعتبر حامض الاندول استيك (IAA) و GA وحامض الابسيسيك (ABA) والاثيلين مركبات شائعة ومنتشرة بصورة واسعة كهورمونات نباتية. عزل الزيتان **zeatin** من سويداء الذرة الصفراء ويبدو انه اكثر السايتوكاينينات تواجدنا في النبات. ولقد طورت اختبارات حيوية مثل اختبار رويشة الشوفان واختبار البيرون الشعير واختبار انسجة لقياس وجود الاوكسينات والجبريلينات والسايتوكاينينات على التوالي. وتؤثر اكثر الهورمونات النباتية مدى واسع من الاستجابات لذا يوجد عدد من الاختبارات الحيوية المتيسرة. لقد اصبحت طرق اختبار الكيمياء الكهروكيميائية **electrochemical assay** مهمة جداً. وتتواجد الهورمونات في النبات بشكل مقيد او حر وهذا يؤثر على جاهزيتها.

- وبشكل عام تؤدي منظمات النمو الاستجابات التالية :
- ١ - تحفز الاوكسينات النمو بالتوسع الخلوي وتسبب السيادة القيمة .
 - ٢ - تشجع الجبريلينات نمو المرستيمات البينية في السلاميات والاوراق .
 - ٣ - تحفز السايتوكاينينات النمو بالانقسام الخلوي .
 - ٤ - تعيق مثبطات النمو الاستطالة وتحفز الانفصال والشيخوخة .
 - ٥ - يحفز الاثيلين نضج الثمار والنمو الاقوي .
- وعادة تعمل منظمات النمو بالتعاون مع بعضها لاجداث إستجابة بدلاً من عملها على افراد .

References

- Abeles, F. B. 1972. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 23:259-92.
- . 1973. *Ethylene in Plant Biology*. New York: Academic Press.
- Addicott, F. T., and J. L. Lyon. 1969. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:139-64.
- Ali, A. A., and R. A. Fletcher. 1971. *Can. J. Bot.* 49:1727-31.
- Allen, O. N. 1973. In *Forages*, 3d ed., ed. M. E. Heath et al. Ames: Iowa State University Press.
- Audus, L. J. 1972. *Plant Growth Substances*. London: Leonard Hill.
- Aung, L. H., A. A. De Hertogh, and G. Staby. 1969. *Plant Physiol.* 44:403-6.
- Bailey, K. M., I. D. J. Phillips, and D. Pitt. 1976. *J. Exp. Bot.* 27:324-36.
- Brian, P. W. 1958. *Nature* 181:1122-23.
- Brian, P. W., and H. G. Henning. 1961. *Nature* 183:74.
- Burg, S. P. 1962. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 13:265-302.
- Burg, S. P., and E. A. Burg. 1966. *Science* 152:1269.
- Burg, S. P., A. Apelbaum, W. Eisinger, and B. G. Kang. 1971. *Hortic. Sci.* 6:359-64.
- Carr, D. J., ed. 1972. *The Plant Growth Substances*. 1970. Berlin: Springer-Verlag.
- Cathy, H. M. 1964. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 15:271-302.
- Chlor, M. A. 1969. *Nature* 214:1263-64.
- Cocucci, S., and M. Cocucci. 1977. *Plant Sci. Lett.* 10:85-95.
- Collins, G. B., W. E. Vian, and G. C. Phillips. 1978. *Crop Sci.* 18:286-88.
- Cornforth, J. W., B. V. Milborrow, G. Ryback, and P. F. Wareing. 1965. *Nature* 204:1269-70.
- Davis, L. A. 1968. *Ph.D. diss., University of California, Davis*.
- Dörffling, K. 1972. In *Hormonal Regulation in Plant Growth and Development*, ed. H. Kaldewey and Y. Vardar. Weinheim: Verlag Chemie.
- Eplee, R. E. 1975. *Weed Sci.* 23:433-36.
- Evans, L. T. 1966. *Science* 151:107-8.
- Fenton, R., T. A. Mansfield, and R. G. Jarvis. 1982. In *Chemical Manipulation of Crop Growth and Development*, ed. J. S. McLaren. London: Butterworth.
- Fernqvist, I. 1966. *Lantbrukshögskol. Ann.* 32:109-244.
- Galston, A. W. 1947. *Am. J. Bot.* 34:356-60.
- Gardner, F. P. 1980. *Western Ill. Univ. Annu. Rep.*, unpublished.
- Gardner, F. P., and J. W. Reeves. 1980. *Abstr. Ill. State Acad. Sci.*
- Greer, H. A. L., and I. C. Anderson. 1965. *Crop Sci.* 5:229-32.
- Hart, R. C., and G. E. Carlson. 1967. *USDA-ARS, CR-55-67*.
- Hedden, P., J. MacMillan, and B. O. Phinney. 1978. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:149-92.
- Heide, O. M. 1972. In *Hormonal Regulation in Plant Growth and Development*, ed. H. Kaldewey and Y. Vardar. Weinheim: Verlag Chemie.
- Jaggard, K. W., D. K. Lawrence, and P. V. Briscoe. 1982. In *Chemical Manipulation of Crop Growth and Development*, ed. J. S. McLaren. London: Butterworth.
- Jones, E. R. H., H. B. Henbest, G. F. Smith, and J. A. Bently. 1952. *Nature* 169:485.
- Kasperbauer, M. J., and J. L. Hamilton. 1978. *Agron. J.* 70:363-66.
- Ketring, D. L., and H. A. Melouk. 1980. *Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc.* 12:64.
- Krishnamoorthy, H. N., ed. 1975. *Gibberellins and Plant Growth*. New York: Wiley.
- Lang, A. 1970. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 21:537-70.
- Leopold, A. C. 1964. *Plant Growth and Development*. New York: McGraw-Hill.
- . 1972. In *Hormonal Regulation in Plant Growth and Development*, ed. H. Kaldewey and Y. Vardar. Weinheim: Verlag Chemie.
- Leopold, A. C., and P. E. Kriedemann. 1975. *Plant Growth and Development*. 2d ed. New York: McGraw-Hill.
- Leshem, Y. 1973. *The Molecular and Hormonal Basis of Plant Growth Regulation*. New York: Pergamon.

- Latham, D. S. 1968. In *Biochemistry and Physiology of Plant Growth Substances*, ed. F. Wightman and G. Setterfield. Ottawa: Runge.
- Loveys, B. R., and P. F. Wareing. 1971. *Planta* 98:109-16.
- Luckwill, L. C. 1976. *Outlook Agric.* 9:46-51.
- Marre, E. 1977. In *Plant Growth Regulators*, ed. P. E. Pilet. New York: Springer-Verlag.
- Masuda, Y. 1977. In *Plant Growth Regulators*, ed. P. E. Pilet. New York: Springer-Verlag.
- Milborrow, B. V. 1967. *Planta*. 76:93-113.
- . 1974. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 25:259-307.
- Miller, C. O. 1961. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 12:395-408.
- Mitchell, J. B., and P. C. Marth. 1947. *Growth Regulators for Garden, Field and Orchard*. Chicago: University of Chicago Press.
- Morris, L. L., A. A. Kader J. A. Klaustermeyer, and C. C. Cheyney. 1978. *Calif. Agric.* 32:12-13.
- N'Diaye, O. 1980. Ph.D. diss., University of Florida, Gainesville.
- Nelson, P. M., and E. C. Rossman. 1958. *Science* 127:1500-1501.
- Nitch, C. 1950. *Am. J. Bot.* 37:211-15.
- Ohkuma, K., J. L. Lyon, F. T. Addicott, and F. T. Smith. 1963. *Science* 142:1592-93.
- Paleg, L. G. 1965. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 16:291-322.
- Phillips, I. D. J. 1965. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 16:341-67.
- Phinney, B. O. 1956. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 42:185-89.
- Phinney, B. O., and C. A. West. 1960. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 11:411-36.
- Pratt, H. K., and J. D. Goeschl. 1969. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:541-84.
- Probsting, W. M., P. J. Davis, and G. A. Marx. 1978. *Planta* 141:231-38.
- Quinlan, J. D., and R. J. Weaver. 1969. *Plant Physiol.* 44:1247-52.
- Radin, J. W., and R. S. Loomis. 1969. *Plant Physiol.* 44:1584-89.
- Rice, E. L. 1974. *Allelopathy*. New York: Academic Press.
- Schaeffer, G. W., and A. A. Abdul-Baki. 1973. *Bull. Torrey Bot. Club* 100:143-46.
- Schneider, G. 1970. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 21:499-536.
- . 1972. In *Hormonal Regulation of Plant Growth and Development*, ed. H. Kaldewey and Y. Vardar. Weinheim: Verlag Chemie.
- Scott, P. C., and A. C. Leopold. 1967. *Plant Physiol.* 42:1021-22.
- Shepard, J. F., D. Bidney, and E. Shanin. 1980. *Science* 208:17-24.
- Sibbett, G. S., G. C. Martin, U. C. Davis, and T. Draper. 1978. *Calif. Agric.* 32:12-13.
- Steward, F. C. 1964. *Plants at Work*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Tanner, J. W., and S. Ahmed. 1974. *Crop Sci.* 14:371-74.
- Thimann, K. V. 1937. *Am. J. Bot.* 24:407-12.
- . 1963. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 14:1-18.
- . 1972. In *Plant Physiology: A Treatise*, vol. 1B, ed. F. C. Steward. New York: Academic Press.
- Thomas, T. H. 1976. *Outlook Agric.* 9:62-68.
- Thomas, T. H., P. F. Wareing, and P. M. Robinson. 1965. *Nature* 205:1270-72.
- Torrey, J. G. 1958. *Plant Physiol.* 33:358-63.
- Wain, R. L., and C. H. Faucett. 1969. In *Plant Physiology: A Treatise*, vol. 1B, ed. F. C. Steward. New York: Academic Press.
- Walton, D. C. 1980. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:453-89.
- Wareing, P. F. 1976. *Outlook Agric.* 9:42-45.
- Wareing, P. F., R. Horgan, I. E. Henson, and W. Davis. 1977. In *Plant Growth Regulators*, ed. P. E. Pilet. New York: Springer-Verlag.
- Wareing, P. F., and I. D. J. Phillips. 1978. *The Control of Growth and Differentiation in Plants*. 2d ed. New York: Pergamon.
- Weaver, R. J. 1972. *Plant Growth Substances in Agriculture*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Went, F. W., and K. V. Thimann. 1937. *Phytohormones*. New York: Macmillan.
- Wheeler, R. M., and F. B. Salisbury. 1980. *Science* 209:1126-27.
- Wilkins, M. B., ed. 1969. *Physiology of Plant Growth and Development*. New York: McGraw-Hill.

- _____. 1977. In *Plant Growth Regulators*, ed. P. E. Pilet. New York: Springer-Verlag.
- Wittwer, S. H. 1958. *Econ. Bot.* 12:213-55.
- Worsham, A. D., D. E. Moreland, and D. Klingman. 1959. *Science* 130:1654-56.
- Yang, S. F. 1967. *Arch. Biochem. Biophys.* 122:481-87.
- Ziev, M., and E. Zamski. 1975. *Ann. Bot. n.s.* 39:579-83.

النمو والتكوين Growth and Development



نمو وتكوين النبات عمليات ضرورية لحياة وتكاثر النوع . وهي عمليات مستمرة خلال دورة النبات وتعتمد على جاهزية المرستيمات *meristems* ونواتج التمثيل والهormونات ومركبات النمو الاخرى والبيئة الملائمة .

حسابياً يمكن التعبير على نمو النبات كدالة للتركيب الوراثي \times البيئة = دالة (عوامل النمو الداخلية \times عوامل النمو الخارجية) . تتأثر بعض الصفات بدرجة رئيسية بالتركيب الوراثي ، واخرى بالبيئة وتعتمد درجة التأثير على الصفة . ينظم الـ **DNA** ترتيب الاحماض الامينية الى بروتينات معينة وانزيمات مكوناً القدرة الوراثية على النمو والتكوين والشكل الظاهري الكامل للنبات . يعطي التداخل بين التركيب الوراثي والبيئة التعبير عن القدرة الوراثية .

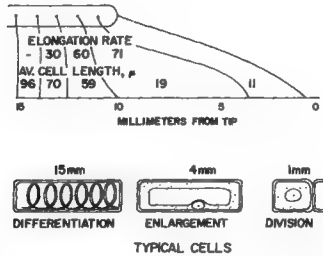
ان الهدف في الانتاج الحديث للمحاصيل هو زيادة معدلات النمو والحاصل من خلال تجميع العوامل الوراثية والبيئية ، ويمكن تغيير التركيب الوراثي من خلال تربية النبات والانتخاب . يعطى احياناً نتائج كبيرة ويمكن حث او تحفيز المناخ القريب من النبات (المناخ الصغير) *microclimate* بطرق عديدة مثل اختيار الموقع والحرارة والري والبزل والتسميد ومكافحة الآفات والطرق او الاستراتيجيات الزراعية المختلفة المعقدة (مثل موعد الزراعة ، الكثافة النباتية وتوزيع النباتات) ان اغلب هذه الامور تستعمل عادة من قبل المزارع في الزراعة الحديثة ويمكن ان تتوسع القائمة .

تعريف النمو :

ان شرح النمو اسهل من تعريفه وبعبارة محدود (ضيقة) انه عبارة عن انقسام الخلايا *cell division* (الزيادة في العدد) وتوسع الخلايا *cell enlargement* (زيادة الحجم) . وان كلا العمليتين تتطلبان تمثيل البروتين وهي غير عكسية .

تشمل عملية توسع الخلايا تميء hydration وتكوين الفجوات vacuolation وأحياناً تعتبر عملية التمييز differentiation (تخصص الخلايا) جزءاً من النمو. ويتطلب تكوين النبات كل من النمو والتمييز شكل (١-٨).

بينما يعرف البعض نمو النبات بأنه عملية انقسام وتوسع الخلية يعرفه مختص المحاصيل الحقلية بأنه الزيادة في المادة الجافة. يشمل هذا التعريف عملية التمييز التي تساهم كثيراً في تراكم المادة الجافة وفي التحليل النهائي نجد أن تكوين النبات ومظهره الخارجي ينتج من العمليات الثلاثة، النمو بانقسام الخلايا والتوسع والتمييز.



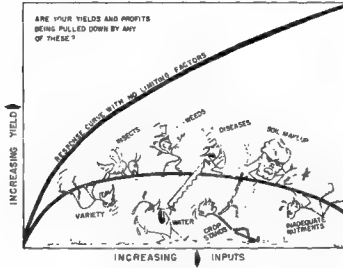
شكل (١-٨) مناطق النمو والتمييز وأنواع الخلايا المثلة لقمة جذر الذرة الصفراء (Baldwin 1953):

يستعمل عادة تراكم الوزن الجاف كمقياس لوصف النمو بسبب أنه ذا أهمية اقتصادية كبيرة. إضافة إلى استعمال عدد من المقاييس ذات العلاقة كارتفاع النبات والحجم ومساحة الأوراق. أن الوزن الرطب أقل فائدة بسبب عدم ثباته اعتماداً على الرطوبة في النبات. أما منتجي الخضراوات والأزهار والثمار فإنهم يهتمون أكثر بالوزن الرطب (مع عوامل النوعية) من الوزن الجاف.

عوامل النمو

يمكن تقسيم العوامل المؤثرة على النمو الى عوامل خارجية (بيئية) وعوامل داخلية (وراثية) والعوامل الخارجية هي :

- ١- المناخ Climatic : الضوء ، درجة الحرارة ، الماء ، طول النهار ، الرياح والغازات (ثاني اوكسيد الكربون CO_2 ، الاوكسجين O_2 ، النتروجين N_2 ، ثاني اوكسيد الكبريت SO_2 ، اكاسيد النتروجين ، والفلور Fl ، والكلور Cl ، والاوزون O_3 .
- احياناً تكون هذه الغازات ملوثات (ماعدا الثلاثة الاولى) ويمكنها تكوين تراكيز كافية لتبسيط النمو .



شكل (٨ - ٢) بعض العوامل المحددة لانتاج المحاصيل (معهد البوتانيوم الامريكى ، ١٩٦٠) .

- ٢- عوامل التربة Edaphic : النسجة ، التركيب ، والمادة العضوية ، سعة تبادل الايونات (CEC) حموضة التربة pH ، التشبع القاعدي ، وجاهزية العناصر .

تتطلب النباتات ما مجموعة ستة عشر عنصراً (انظر الفصل الخامس)

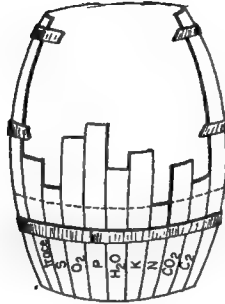
- ٣- عوامل بايولوجية Biological : الادغال ، الحشرات ، مسببات الامراض ، النيماتود ، انواع مختلفة من الحيوانات التي تتغذى على النباتات herbivores

واحياء التربة المجهريه مثل البكتريا المثبتة للنيتروجين وبكتريا عكس النترجة
denitrifys والجنذور الفطرية mycorrhiza (فطريات تعايشية مرتبطة
مع جذور النباتات) .
العوامل الداخلية :

- ١ - المقاومة الى شد عوامل المناخ والتربة والعوامل البيولوجية .
 - ٢ - معدل التمثيل الضوئي .
 - ٣ - التنفس .
 - ٤ - توزيع نواتج التمثيل والنترجين .
 - ٥ - محتويات الكلوروفيل والكاروتين والصغ الاخرى .
 - ٦ - نوع وموقع المرسيمات .
 - ٧ - قابلية خزن الغذاء الاحتياطي .
 - ٨ - فعاليات الانزيمات .
 - ٩ - تأثير الجين المباشر (مثل غزارة او قوة الهجين heterosis و
epistasis) .
 - ١٠ - التميز .
- توجد هناك عوامل عديدة تحت السيطرة الوراثية التي تساهم بالحاصل لذا فان
هذه القائمة تعد جزءاً من عوامل عديدة .

معوقات عوامل النمو Limitation of Growth Factors

كانت استجابة النبات لقلة العناصر الفنائية من اولى المواضيع العلمية التي درسها
الباحثين وتمد الاعمال السني قام بها Liebig و Sachs و Blakman و
Mitscherlich واخرون الاساس لتكوين النظريات العديدة لمعرفة عوامل النمو
واستجابة النبات وقد ظهرت بعض هذه المفاهيم خطأ الى حالة قوانين . ان
استجابات النبات وتداخلاته المحتملة كثيرة جداً ومعقدة لذا فليس من السهل توقعها
ومع ذلك فان معرفة هذه النظريات يعطى فهماً جيداً لاستجابة النبات ويمكن ان
يساعد في تخطيط استراتيجيات ادارة المحاصيل شكل (٨ - ٣) .



LIMITING FACTORS

شكل (٨ - ٣) قانون الحد الأدنى موضح بمفهوم البرميل المثل باضلع خشبية ذات ارتفاعات مختلفة .
التتروحين اصغر ضلع يمثل القدرة القصوى للبرميل وبالتالي فهو يحدد أقصى نمو ممكن .

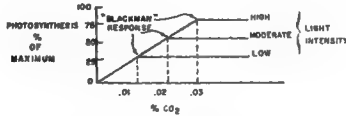
قانون ليبك للحد الأدنى Liebig: Law of the minimum

اقترح Justus Von Liebig سنة ١٨٩٢ قانون الحد الأدنى . ومن المحتمل ان يكون افضل نظريات العامل المحدد المعروفة . وكان كما يلي (نقص او غياب عامل ضروري لنمو النبات مع وجود العوامل الاخرى يترك التربة جرداء للمحاصيل التي تحتاج ذلك لعنصر المغذي) . ويسمى احيانا هذا القانون بمفهوم البرميل Barrel concept اذا كان البريل الخشبي يتكون من اضلع خشبية ذات اطوال مختلفة فان ارتفاع اصغر ضلع سوف يحدد قدرة البرميل للاحتفاظ بأي شيء شكل (٨ - ٣) وعليه فان عامل النمو المتواجد بأقل كمية (سواء كانت عوامل مناخية او بايولوجية او تربة او وراثية) سوف تحدد القابلية للحاصل .

المثالية والعوامل المحددة لبلاكمات Blackman: Optima and Limiting Factors

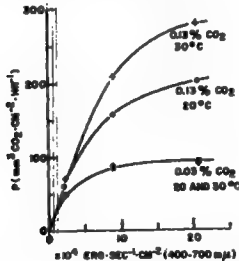
تنص نظرية المثالية والعوامل المحددة التي وضعها F. F. Blackman (1905) على مايلي :

(عندما تكون عملية ما معتمدة في سرعتها على عدد من العوامل المختلفة فان سرعة العملية تكون محددة بسرعة ابطأ عامل) تتطلب عملية التمثيل الضوئي الضوء وثنائي اوكسيد الكربون . تقترح نظرية بلاكمان حصول انقطاع فجائي للعملية (استجابة بلاكمات) اذا اصبح احد هذين العاملين محدوداً شكل (٨ - ٤) ومع



شكل (٨ - ٤) تمثيل ثاني اوكسيد الكربون وتأخره مع شدة الاضاءة (Blackman 1905)

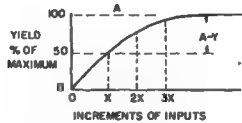
ذلك يبدو بأن هذه الزوايا الحادة وهذا النوع من الاستجابة نادراً ما يحدث في الطبيعة . وبذلك تكون الاستجابة للعوامل المحددة للتمثيل الضوئي خطية منحنية Curvilinear ويصل الحد الاقصى على شكل منحنى asymptotic (شكل ٨ - ٥) .



شكل (٥ - ٨) التمثيل الضوئي لورقة الخيلار وعلاقته بشدة الاضاءة ودرجة الحرارة وتركيز ثاني اوكسيد الكربون (Gastrop 1963)

قانون ميچرليج للعوائد المتناقصة Mitscherlich: Law of Diminishing Returns

طور احد علماء التربة الالمان يدعى Mitscherlich في عام ١٩٠٩ معادلة ربطت نمو النبات الى عوامل النمو المجهزة . وقد لاحظ انه عند تجهيز النباتات بكميات كافية من جميع العناصر ماعدا عنصر واحد محدداً فان نمو النبات يتناسب مع كمية العنصر المحدد . ولقد وجد ان نمو النبات يزداد كلما اضيفت كميات اخرى من العامل المحدد . ولكن الزيادة لم تكن متناسبة مباشرة مع الكميات المضافة من العامل المحدد (شكل ٨ - ٦) . ينص قانون تناقص الغلة او العوائد لميچرليج (ان الزيادة في اي محصول الناتجة عن وحدات الزيادة للعامل المتناقص تكون متناسبة مع انخفاض كمية ذلك العامل من الحد الاعلى) وتكون الاستجابة خطية منحنية *curvilinear* بدلاً من خط مستقيم كما اقترح بلاكمان ان معادلة ميچرليج كما يلي :



شكل (٨ - ٦) منحنى الاستجابة كما هو موضح بمعادلة ميچرليج .

$$dy/dx = C(A - Y)$$

حيث ان d هي زيادة التغير و dx هي الزيادة في العامل الناتجة من الزيادة في عامل النمو (dx) . A تمثل اعلى حاصل ممكن ان يتأتى عن طريق اضافة عامل النمو بدون تحديد . Y لا يمثل الحاصل الذي يتأتى من اضافة أية كمية من العامل x اما C فهو ثابت النسبة وهذا يعتمد على طبيعة عامل النمو . تكون زيادة النمو من Y اعلى قيمة لاول زيادة في x (جدول ٨ - ١) . ثم تصبح كمية الزيادة في الحاصل (y) اقل مع تقدم كل زيادة مضافة من (x) نظرياً تمثل الزيادة حوالي نصف استجابة الاضافة المسبقة .

عندما يعبر عن الحاصل على اساس نسبي ($A = 100$) . $C = 0.301$.
 اذا كان $A = 100$ فان المعادلة تكتب كما يلي
 لو ($Y - 100$) = لو $0.301 - 100$.

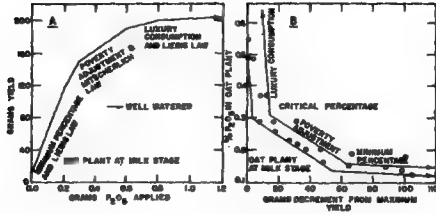
جدول (٨ - ١) كمية العنصر او العامل المطلوب لاعطاء نصف الحاصل (وحدة Baule) عند تطبيقها في معادلة مييرلج

وحدة Baule المضافة	الحاصل المتوقع نسبة من الحد الاعلى
صفر	0.00
١	50.00
٢	75.00
٣	87.50
٤	93.75
مالانهاية	100.00

كمية العنصر او العامل الاخر الضروري لاعطاء الصنف اعلى حاصل يسمى وحدة Baule من هذه الفرضية وكما هو موضح بالمعادلة يمكن تكهن الحاصل من اضافة وحدات Baule جدول (٨ - ١) . وقد اقترح Wilcox (1937) بأنه من الممكن تقدير قيمة ثابتة (C) في المعادلة لجميع المحاصيل . الا ان هذه الفكرة لم تكن مقبولة بشكل عام .

النسبة العرجة لميسي Macy: Critical percentage

اصناف (1936) Macy ابعاد جديدة لهذه المفاهيم باتقراحة العلاقة بين كفاية المغذيات واستجابة النبات على اساس كل من الحاصل وتركيز العنصر في انسجة النبات . وقد اقترح Macy ان هناك نسبة عرجة لكل مغذي في كل نوع من انواع النباتات . (شكل ٨ - ٧) . وفي مدى نسبة الحد الادنى في الانسجة تؤدي اضافة زيادة المغذي الى زيادة الحاصل ولكن لا تؤدي الى زيادة في نسبة المغذي . وفي مدى تعديل الافتقار poverty-adjustment ، تؤدي اضافة زيادة المغذي الى زيادة كل من الحاصل ونسبة المغذي . وفي مدى الاستهلاك الترفي luxury-consumption . وتؤدي اضافة الزيادة في المغذي الى تأثير قليل على الحاصل ولكن تحصل زيادة في



شكل (٨ - ٧) يوضح تفسير ميسي Macy لقانون ليبيك وسجله وقد ربطها مع نسبة الحد الأدنى وتعديل الانحياز والاستهلاك الترفي عند النسبة الحرجة (Macy 1936).

نسبة مكونات العنصر. واقترح Macy بأن قانون Leibig يكون صحيحاً في مدى نسبة الحد الأدنى في الأنسجة بسبب وجود يكفي من المغذي يسمح للنبات بنمو طبيعي. مرة أخرى يكون قانون Liebig صحيحاً في مدى الاستهلاك الترفي والسبب بالرغم من أن هناك تجهيز كميات كبيرة من مغذي واحد فإن بعض العناصر تصبح محدودة النمو وأن قانون Mitscherlich للمغلة المتناقصة يكون صحيحاً خلال مدى تعديل الفقر بسبب أن الاستجابة تكون منحنية خطية (يمثل أبعاد المغلة) لاضافة زيادة في العامل .

أهلية العوامل المحددة Limiting factor Qualifications

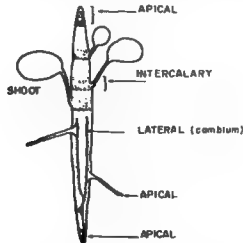
هناك أسباب عديدة تتعلق بالمفاهيم السابقة وإنها نظريات ولا تقبل كقوانين ومن هذه الأسباب مايلي :-

- ١- التفاعلات البيولوجية معقدة وقد تتم بأكثر مسار واحد. فمثلاً يمكن أن يتحول مركب A الى مركب B ثم الى C او مباشرة يتحول الى C او بالعكس. وإن انخفاض مسار واحد أو الاقلال من عامل معين ليس بالضرورة أن يخفض أو يوقف التفاعل .

- ٢ - تعويض عوامل بموامل اخرى . على سبيل المثال يمكن ان يحل الصوديوم جزئياً محل البوتاسيوم في انواع المحاصيل .
- ٣ - بعض العوامل تحور او تؤثر على عوامل اخرى . على سبيل المثال يؤدي الفسفور الى نقص في امتصاص الزنك . والبوتاسيوم يؤدي الى نقص امتصاص المغنيسيوم . وتؤدي زيادة الاشعة الى زيادة درجة الحرارة ونقصاً في جاهزية الماء .
- ٤ - تؤثر النباتات على عوامل تنمو كما ان عوامل النمو تؤثر على النباتات . على سبيل المثال تؤدي اضافة النتروجين الى زيادة نمو النبات والمساحة الورقية والذي بدوره يقلل الضوء للاوراق السفلى ويخفض درجة حرارة التربة وتزداد الرطوبة نتيجة التظليل الناتجة من الزيادة الحاصلة في النمو .
- ٥ - قد يكون هناك اكثر من عامل واحد محدد في وقت واحد .

المروستيمات Meristems

يحدث النمو بانقسام وتوسع الخلايا في انسجة متخصصة تسمى مروستيمات والتي توجد في عدد من المواقع على النبات (شكل ٨ - ٨) . ان عدد مروستيمات النبات كبير الا انها على اساس الكتلة الكلية تكون الانسجة المروستيمية قليلة . وقد تتنافس المروستيمات بشدة مع بعضها على المركبات العضوية والعناصر المعدنية . وبالحقيقة يعتمد اغلب فن انتاج المحصول على ادارة التنافس بين المروستيمات (مثلاً زيادة عدد



شكل (٨ - ٨) مروستيمات النبات (Janick 1963).

الاشطاء *tillers* والتفرعات . والنورات الزهرية والمساحة الورقية) وذلك بتشجيع التكوين المرستيمي في بعض البراعم القمية الكامنة (مثل البراعم الابطية *axillary buds*) والمرستيمات البينية *Intercalary* (المرستيمات الموجودة بين الانسجة المتميزة مسبقاً) . وعادة يفضل تشجيع تكوين اوراق كبيرة وابعاد كثيرة من المرستيمات القمية والبينية واحياناً تفضل السماح بتكوين أشطاء او تفرعات من المرستيمات القمية الناتجة من البراعم الساكنة في الاوراق الجانبية . تكون المرستيمات الجانبية الخلايا الجديدة التي توسع عرض او قطر العضو ويعد الكامبيوم الوعائي *vascular cambium* مرتسيم جانبي متخصص والذي منه يتكون الخشب الثانوي واللحاء . ونوع اخر من المرستيم الجانبي يقع على حافة الاوراق الفتية المتوسعة توأ . تكون المرستيمات القمية خلايا جديدة في قمة الجذور او السيقان مؤدية الى زيادة في الطول او الارتفاع (شكل ٨ - ٨) وان العلاقة بين تطور المرستيم القمي والجانبي الى هورمونات النمو موضحة في الفصل السابع .

يقع المرستيم البيني المتخصص بين انسجة متميزة مسبقاً لبعض الاعضاء شكل (شكل ٨ - ٨) مثلاً بين العقدة والسلامية او بين نصل الورقة والغمد . تحوي الوسادة الورقية *Pulvinus* في ساق الحشائش على مرستيمات بينية . وتحوي السيقان على مرستيمات بينية عند قاعدة السلامة . وعندما يضطجع الساق يحصل نمو في المرستيمات البينية باستطالة الخلايا بمعدلات مختلفة حول محيط الساق مؤدياً الى انتصاب النبات . تقوم المرستيمات البينية الموجودة عند قاعدة اتصال واغصان الاوراق بتوسع طول الورقة .

وعند مناقشة المرستيمات من المفيد التميز بين المرستيمات المبعثرة او المجمعة . المرستيمات المبعثرة ذات عدد قليل من الخلايا او فعالية الخلية منخفضة فيها ويتطلب مصدر خارجي من الهورمونات لاجل النمو . ومن الامثلة على ذلك الكامبيوم والبيضة المخصبة حديثاً . وفي حالة عدم تطور العضو الاثري مثل البيضة المخصبة مباشرة الى مرستيم مجمع مع فعالية عالية للخلية وتكون الهرمونات التي تحتاجها فانها سوف تجهض . ويحوي البرعم القمي على مرستيم مجمع ويكون هرمون لتجهيز نفسه . وغالباً ما تصمم العمليات الزراعية للسيطرة على تكوين مرستيمات مجمعة . على سبيل المثال زراعة النرة الصفراء بكثافات نباتية معتدلة لتشجيع تكوين عرنوص او عرنوصين على النبات الواحد (من المرستيمات المجمعة) . وليس اقل أو اكثر من ذلك . وتزرع الحنطة بمعدلات بذار معتدلة للسماح بتكوين الاشطاء *tillers* وليس بمعدلات عالية لان ذلك يسبب اجهاض

الكثير من السنابل في السيقان غير الحقيقية (الكاذبة) pseudostems. قبل مرحلة ظهور السنابل . وهكذا فإن المرستيمات المجمعة تكون عدد من الخلايا فعاليتها كافية لضمان انتاج هورمونات بكميات كافية لادامة الانقسام الخلوي وسريان مباشر للكاربوهيدرات والعناصر الاخرى للتكوين الشكلي للنباتات .

علاقات النمو : Growth Correlations

يكتسب النبات صفات الشكل او الصورة بعلاقة نمو مكونات الاجزاء المختلفة كذلك مكونات الاجزاء ذات صفات شكل او صورة تعاد بالوقت والمكان . البيئة الملائمة تستطيع ان تشجع النمو كميّاً الا ان هندسة geometry اجزاء النبات والنبات الكلي ثابتة نسبياً .

الألومتري : ALLOMETRY

يطلق على العلاقة بين معدلات نمو الاجزاء الفردية للمضو او الكائن الحي بالـ *allometry* . يمكن التعبير عن العلاقة بين متغيرين (Y و X) بـ $Y = bx^x$ حيث ان x و y تمثل معالم (مقاييس) فيزيائية و b و K ثوابت . يسمى K ثابت الألومتري . يمكن حساب كمية K من المعادلة $\log y = \log b + K \log x$ كما يمكن الحصول عليها من رسم y ضد x على مقاييس لوغاريتمي مزدوج . حيث يعطي خط مستقيم فان K يمثل منحدر الخط المستقيم كما يمكن ايضاً حسابها بتحليل انحدار الخط المستقيم للبيانات اذا كان طول وعرض المضو . مثل الورقة . تتوسع بنفس المعدل فان منحدر الخط المستقيم (معامل الألومتري K) يساوي واحد . وتوجد علاقة كاملة بين معدلات النمو للمقياسين . اوضح Hammond (1941) ان الألومتري لاوراق القطن الطبيعية واوراق القطن المشابهة للياميا okra-type ذات توريث عالي يتحكم بها جين واحد . معامل الألومتري للعلاقة بين الجزء العلوي والجنور تعتمد على الاوراق الجافة وليس على الابعاد وعادة تكون ذات قيم منخفضة . يكون دليل الحصاد ونسبة وزن البنور الى الوزن الكلي للنبات ذو معامل الوميترى عالي نسبياً ومقياس ثابت باختلاف الوقت والمكان وبالرغم من ان الألومتري يستخدم عادة كمقياس فيزيائية للنبات فهو منطقياً يتبع العمليات الفسيولوجية ذات الارتباط . حساب الألومتري لعلاقات

الارتباطات المختلفة يمكن ان توفر قيم تقريبية مفيدة الا انه يمكن توضيح بأنها غير مضبوطة رياضياً .

جدول (٨ - ٢) توزيع المادة الجافة والكربون المفع ^{١٤}C بين السيقان والجذور في نباتات الرز باستخدام ثلاث مستويات من النتروجين .

النتروجين المضاف الجزء النباتي والنسبة (غم / نبات)	الوزن الجاف (غم / نبات)	نسبة الكربون بعد أربعة ايام
قليل (صفر)	١,٨٦	٥٩
الساق	٠,٣٦	٤١
الجنر	-	-
نسبة الساق - الجنر (٢,٤٥)	-	-
المجموع	٢,٦٢	-
متوسط (٣)	٢,٤١	٨٦
الساق	٢,١١	١٥
الجنر	-	-
نسبة الساق - الجنر (٣,٥١)	-	-
المجموع	٩,٥٢	-
عالي (٦)	٨,٤٠	٨٩
الساق	٢,٣٣	١١
الجنر	-	-
نسبة الساق الجنر (٣,٦٠)	-	-
المجموع	١٠,٧٣	-

نسبة النمو العلوي الى الجذور : SHOOT-ROOT RATIO

يمبر عادة عن العلاقة بين النمو العلوي للنبات ونمو الجذور بنسبة الساق الى الجنر (S-R) وهي ذات اهمية فيولوجية حيث انها تمكس مقاومة النوع لشد الجفاف . وبالرغم من ان نسبة الساق الى الجنر تتحكم بها عوامل الوراثة . فهي ايضاً تتأثر بدرجة كبيرة بالعوامل البيئية فقد لاحظ (Murata 1969) بان لتسميد النتروجين تأثير كبير على نسبة الساق الى الجنر لنبات الرز (جدول ٨-٢) . (٢)

انتقل حوالي ٩٠ ٪ من نواتج التمثيل الى الساق في مستويات النتروجين العالية مقارنة مع انتقال ٥٠ ٪ فقط من نواتج التمثيل الى الساق في مستويات النتروجين الواطئة . تحفز نمو السيقان الجديدة باضافة النتروجين وكانت مصب اقوى لنواتج التمثيل من الجذور . بينما يؤدي نقص الماء الى تقليل نمو كل من الجزء العلوي والجذر الا ان تأثيره يكون اكثر على النمو العلوي نسبياً (Loomis 1953) . يكون الجزء العلوي من النبات مفضلاً على الجذور عندما يتوفر النتروجين والماء بكميات كافية للنمو بينما تفضل الجذور عندما تكون هذه العوامل محدودة كما هو موضحاً بنسب الساق الى الجذور . تحصل الجذور أولاً على الماء والنتروجين وعوامل التربة الأخرى . بينما الجزء العلوي من النبات يحصل أولاً على الضوء وثاني اوكسيد الكاربون او عوامل المناخ (الماء والعوامل الأخرى المؤثرة على النمو العلوي والجذور مشروحة بالتفصيل في الفصل العاشر والحادي عشر) .

النمو القمي والجانبى : APICAL AND LATERAL GROWTH

تتمدد صفات شكل او هندسة النبات بالدرجة الرئيسية على توسع النمو من البراعم القمية والجانبية . يمكن ان يغير نمو البراعم الجانبية مظهر وشكل النبات كثيراً . ويظهر النمو الجانبى كسيقان جديدة عادة من البراعم الموجودة في اباط الاوراق واحياناً من منطقة العقد المضغوطة لقاعدة الساق المسماة بالتاج (crown) ويمكن ان تظهر السيقان الجديدة عرضياً من اي موقع والنتيجة النهائية هي ان النباتات تحاول ملء الفراغات المتوفرة لها وهذه صفة مفيدة مميزة للبقاء الطبيعي والانتاجية . ويمد الضوء العامل الاساسي الذي يسيطر على النمو الناتج من البراعم الجانبية .

النمو الخضري والشمري :

يظهر ان النباتات الحولية ذات طلب عالى على نواتج التمثيل للنمو التكاثري . ينتهي عادة النمو الخضري في النباتات الحولية بتكوين الاجزاء الشمرية . وان الاوراق والسيقان والاجزاء الخضرية لاتنقل فقط في المنافسة على نواتج التمثيل الحديثة خلال نضج الثمار بل انها لحد ما تضحى بالكاربون والعناصر المعدنية

المتراكمة فيها مسبقاً من خلال اعادة انتقالها وتوزيعها وتسرع هذه العملية من الشيخوخة *senescence* وتؤدي في النهاية الى موت النبات . يبدو ان النباتات^{٢٠} الدائمة تقوم بجهد جزئي للانتاج الثمري حيث ان السيقان التي تكون الثمار قد تبقى حية وبحالة جيدة . وحتى لو ماتت تتكون سيقان خضرية جديدة من البراعم الجانبية لتحل محلها عند شيخوخة السيقان الثمرية . ويبدو ان الانواع الدائمة مثل اشجار التفاح والحمضيات لاتتأثر كثيراً بوجود الثمار الناضجة . تصل عادة سيقان النباتات المحولة العسبية سواء حشيشية ام بقولية التي تنتج اجزاء ثمرية مرحلة الشيخوخة مثل النباتات الحولية الا ان السيقان الجديدة تظهر من براعم التاج والتي تؤدي الى حالة الـ *Peremation* . (سوف يشرح النمو الخضري والثمري في الفصل الحادي عشر والثاني عشر)

النمو والتمييز : Growth and Differentiation

- ان تكوين النبات عبارة عن توافق عمليات معقدة للنمو والتمييز التي تؤدي الى تراكم المادة الجافة . يحتاج التميز الى ثلاثة متطلبات هي :
- ١ - نواتج تمثيل جاهزة بكميات وافرة للاستعمال في اغلب العمليات .
 - ٢ - درجة حرارة مناسبة .
 - ٣ - نظام انزيمي ملائم لمساعدة عملية التميز .

اذا تم توفير هذه المتطلبات تحصل احدى او اكثر من استجابات التميز الثلاثة التالية :

- ١ - جدار الخلية
- ٢ - Cell inclusions
- ٣ - صلابة او تطويح (hardening) البروتوبلازم (Loomis 1953) .

ان العملية الاخيرة مهمة لمنع ضرر البروتوبلازم من الشد او الظروف الطبيعية مثل البرودة والحرارة او الجفاف على سبيل المثال يمكن وضع النباتات المطوعة جيداً في المشتل *nursery* او المنقولة في الخارج (الحقل) بنجاح اكثر من النباتات غير المطوعة . ان العامل الضروري الرئيسي لعملية التميز هو جاهزية الكربوهيدرات توفير النظام الانزيمي الضروري . تنتج عادة نواتج التمثيل بكميات وافرة لستد متطلبات النمو وهي من العوامل التي تحد او توقف النمو دون ايقاف او تأثير على عملية التمثيل الضوئي . ان العوامل التي تحد النمو اكثر من حدها او اقلها

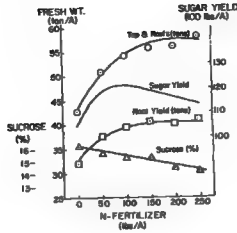
لعملية التمثيل الضوئي هي مثل نقص الماء والتروجين والتي تؤدي الى زيادة المواد المتمثلة لدعم عملية التميز مع وجود درجة الحرارة المناسبة والانزيمات الضرورية .
تشخين جدران الخلايا عبارة عن نواتج تراكم ثانوية (مثل القلويدات **alkaloids** والنشويات) وقد يحصل تطويع البروتوبلازم اعتماداً على الانزيمات ودرجة الحرارة وقد تؤدي هذه التغيرات الكيميائية الى تغيرات تشريحية وشكلية (مورفولوجية) .

ان انتاج نوعية جيدة من نواتج المعاصيل يتطلب عادة وجود استراتيجيات تؤدي الى توازن مناسب بين النمو والتميز ، النمو ضروري الا انه عادة يجب ان لا يفضل (على سبيل المثال مع الماء ، والتروجين) دون اعاقه التجهيز .

محاصيل الحبوب الصغيرة النامية تحت مستويات ماء وتروجين عالية وخاصة عندما تكون الاشعة المنخفضة (كما في الكثافات العالية) تكون جدران خلاياها رقيقة **Thin** في السيقان مما يزيد من قابليتها على الاضطجاع والحد من هذه العوامل سوف يسبب العكس . خلايا الجدران غير السمكة تكون مرغوبة في اعناق أوراق الكرفس **celery** لجعلها طرية لهذا يكون الهدف هو تشجيع نمو اعناق الاوراق بوجود كميات كافية من الماء والتروجين لتقليل التميز بهذه المعاملات ولتظليل اعناق الاوراق لتقليل نواتج التمثيل .

تعتبر الطرق الاستراتيجية للـ **cell inclusions** بنفس ضرورة عمليات التميز السابقة . يجمع البنجر السكري السكر ببطء اذا كان التروجين والماء متوفرة بكميات كبيرة شكل (٨ - ٩) . وبينما يشجع التروجين زيادة الحاصل البايولوجي . نجد ان نسبة السكر ترتبط سلباً مع تروجين التربة ، وتؤدي معدلات التروجين العالية الى تقليل حاصل السكر بوحدة مساحة الارض والليالي الباردة ضرورية ايضاً لتراكم السكر .

بعد تكوين نظامين تمثيليين وخزن جيد للسكر في مرحلة النمو الخضري والتي تتطلب اغلب موسم النمو ، اشعة عالية ، درجات حرارة منخفضة ومستويات تروجين وماء اقل من المثالي (كما هو موجود في مناطق ذات خطوط العرض الشمالي) . ولانتاج نوعية جيدة من البطيخ **meions** يتطلب ادارة ذات استراتيجية مشابهة ماعدا درجات الحرارة المنخفضة .



شكل (٨ - ٩) استجابة البنجر السكري للمعادن التروجينية في ديفز ، كاليفورنيا في سنة ١٩٧١ لاحظ حاصل السكر العالي الناتج من معدل السماد المنخفض بدلا من حاصل البنجر الكلي Hicks and Peterson 1978

وتستعمل الترب الرملية لإنتاج بطيخ التجارب في المناطق الرطبة لأجل السيطرة على مستويات الماء والتروجين خلال مرحلة النضج . ويكون البطيخ المنتج في الترب الثقيلة في المناطق الرطبة أكبر إلا أنه يفقد الطعم الحلو sweet-tness .

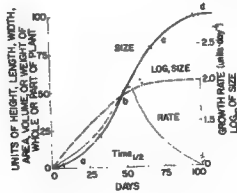
تتراكم النشويات في الجذور الورقية الهشة لنبات الجث في أيام الخريف الباردة المشمسة ، وتؤدي الأشعة العالية خلال الأزهار والليالي الباردة إلى زيادة نواتج التمثيل لأن النواتج من عملية التمثيل الضوئي تزيد من متطلبات النمو وإدامة التنفس والنتيجة النهائية هو تراكم الكربوهيدرات كغذاء واحتياط في الجذور الودية وتطوع البروتوبلازم لعبور فترة الشتاء .

دليل الحصاد Harvest Index

يبدل دليل الحصاد على نسبة نواتج التمثيل المتوزعة بين الحاصل الاقتصادي والحاصل الكلي (Donald and Hamblin 1976) دليل الحصاد مشابه لمعامل التوزيع ، Partitioning Coefficient (دليل الحصاد مشروح بالتفصيل في الفصل الثالث) يجب التأكد كما ذكر Stoy (1969) بأن النقل إلى المصبات الأيضية metabolic sinks (مثل الجذور ، السيقان الجديدة ، الثمار المتكونة) معقد جداً وأن آلية أو قوة الجذب التي تنظم التوزيع إلى المصبات الأيضية غير معروفة .

Growth Dynamics النمو

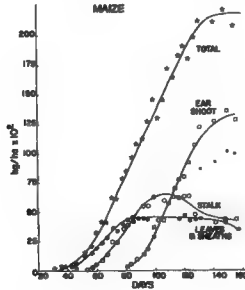
ان نمط النمو خلال جيل معين يوصف مثالياً بأنه دالة نمو تسمى منحنى سيكمويد (منحنى سيني) Sigmoid curve وقد تختلف مدة الوقت من اقل من أيام معدودة الى سنوات . اعتماد على الكائن او العضو الا ان نمط تراكم سيكمويد ممثلة لجميع الكائنات العضوية او الانسجة والاعضاء وحتى مكونات الاحياء . عند رسم كتلة النبات (المادة الجافة) او الحجم او المساحة الورقية او الارتفاع او تراكم المواد الكيميائية ضد (مع) الوقت فان النباتات تكون منحنياً سيكموندياً (شكل ٨ - ١٠) . ينتج منحنى يشبه الحرف S من المعدلات المتباينة للنمو اثناء دورة الحياة على سبيل المثال . نمو البادرات يكون بطى وعادة تكوين الزيادة من المادة الجافة سالبة لفترة قصيرة . اسبوع او اسبوعين . يتبع هذه المرحلة فترة يكون فيها معدل النمو الاسي exponential (المرحلة التاسعة في شكل ٨ - ١٠) . وتعد مرحلة النمو الاسي exponential قصيرة نسبياً في الكساء الخضري للمحاصيل تتبعها مرحلة نمو الخط المستقيم (b) linear phase لفترة طويلة نسبياً والتي خلالها تزداد المادة الجافة بمعدل ثابت . تعد مرحلة نمو الخط المستقيم في الكساء الخضري تعبيراً لمعدل نمو المحصول . crop growth rate (CGR)



شكل (٨ - ١٠) خطوط منحنيات عامة لنمو النبات (الوزن ، الارتفاع ، الطول ، العرض المساحة ، الحجم) ولوغارتم النمو ومعدل النمو . وقد رسمت جميعها ضد الوقت . يشار الى الطول النمو في منحنى النمو كإحدى (١) الطول الاولي أو اللوغارتمى (ب) طور النمو المستقيم (ج) طور النمو الثابت (التضج النسيولوجي) . لاحظ بان معدل النمو يصل القمة عند منتصف فترة النمو .

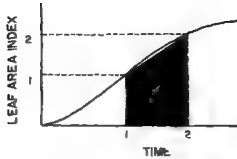
ويصبح معدل نمو المحصول للسيقان بدرجة اقل والاجزاء الاخرى سلباً عندما يبدأ الساق بفقدان الوزن مع بداية تكوين الحبوب نتيجة لحركة وإعادة توزيع الغذاء الاحتياط القابل للانتقال الى البذور وإن اساس إعادة توزيع نواتج التمثيل من التراكيب الخضرية الى التراكيب الثمرية موضح في شكل (٨ - ١١) . يتبع مرحلة نمو الخط المستقيم مرحلة يتناقص فيها معدل النمو (c) . وتصبح الزيادة في معدل النمو قليلة بتقدم الوقت حتى الوصول الى حالة ثابتة (d) . ويشار الى مرحلة الثانية هذه بالنضج الفسيولوجي *physiological maturity* . تكون الزيادة في هذه المرحلة على سبيل المثال في المادة متوازنة مع النقصان . ان افضل توضيح للمفاهيم الكمية للنمو يمكن ان يتم بدراسة الكائنات ذات الخلية الواحدة او النباتات الصغيرة مثل duckweed وعند افتراض عدم وجود معوقات بيئية فيمكن التكهن عن عدد الخلايا او عدد نباتات الـ duckweed بما يلي ،

$N_1 = N_0 \times 2$ بعد الجيل الاول . حيث ان N_1 = عدد الخلايا الفردية او عدد



شكل (٨ - ١١) قهار . معدلات نمو نباتات القمح الصفراء ومكوناتها

نباتات الـ duckweed و N_0 العدد البدائي للخلايا او نباتات الـ duckweed
لذا ففي نهاية الجيل الاول تتكون خليتان او نباتان من الـ duckweed
بدل كل خلية او نبات ويكون العدد في نهاية الجيل الثاني $N_2 =$



شكل (٨ - ١٧) مدة بقاء المساحة الورقية (المنطقة المظلة) تم قياسها من رسم دليل مساحة الاوراق ضد الوقت Hunt 1978

$N_0 \times 2 \times 2 = N_0 \times 2^2$ وان المدد في نهاية الجيل الثالث . بخلية واحدة او نبات واحد في ال duckweed يساوي $N_0 \times 2^2 = 8$ وبهذا يكون المدد في نهاية n من الاجيال كما في المعادلة التالية

$$N_n = N_0 \times 2^n.$$

واذا كانت فترة او مدة الوقت بين الاجيال ثابتة نسبياً . وهذا عادة حقيقي فان المعادلة يمكن ان تكتب كما يلي : $N = N_0 e^{kt}$ حيث ان e يمثل الاساس اللوغارتمي الطبيعي k الثابت لمعدل النمو t الوقت

تمكس هذه الدالة معدل نمو اسي او لوغارتمي بدلاً من خط مستقيم . ويشار اليها عادة بمعادلة compound interest equation وقد استخدمت تحت ظروف خاصة لكائنات متعددة الخلايا او نباتات راقية وذلك باحلال الوزن بدل

$$W = W_0 e^{rt}$$

حيث ان W يمثل الوزن و r يمثل الثابت لمعدل النمو ("interest rate") . لا يبقى النمو عند المعدل الاسي للخلايا الفردية او النباتات طالما هناك تنافس (مثلا على المكان والمركبات والعناصر) . وفي محاصيل الحقل قد تبقى مرحلة النمو الاسي لمدة ايام فقط وخاصة في الكثافات العالية . وحتى مع النباتات المزروعة على مسافات اوسع ينهي التنافس الداخل او بعض المعوقات الاخرى معدل النمو الاسي ويبدأ مرحلة نمو الخط المستقيم (شكل ٨ - ١٠) . وطالما يفلق

الكساء الخضري يكون معدل النمو خطي الى مرحلة الشيخوخة واخيراً يتباطى المعدل الى الصفر او الى حالة ثابتة .

ان اغلب مختصي المحاصيل الحقلية يعيرون اهمية قليلة لمرحلة النمو الاسية وذلك لانها في حالة الحدائة juvenile وتبقى لفترة قصيرة . ان مدة بقاء وانحدار (معدل) مرحلة الخط المستقيم (شكل ٨ - ١٠ ، $b-c$) افضل توضيحاً للحاصل . ويمكن التعبير عن النمو الخطي بالمعادلة $a + bx$ حيث ان a يمثل تقاطع محور y و b يمثل الانحدار (معدل) بوحددة x

تحليل النمو Growth Analysis

غالباً ما يحتاج الباحثون معرفة اكثر من النتيجة النهائية . الحاصل النهائي للمادة الجافة . العوامل على طول فترة النمو لها تأثير كبير على الناتج النهائي . واحدى الطرق لتحليل العوامل المؤثرة على الحاصل وتكوين النبات والذي هو معصلة لتراكم نواتج التمثيل الضوئي بمرور الوقت اصبح يعرف بتحليل النمو . المفهوم الاساسي والتطبيقات الفسيولوجية لتحليل النمو بسيطة نسبياً وقد شرحت ووضحت بالطرق التقليدية V. H. Blackman (1919), Briggs et al. (1920), and Fisher (1920) . استعمل تحليل النمو بشكل واسع في عدة اقطار مثل بريطانيا ، ومن ضمنها اعمال Watson (1947, 1952) التقليدية . استعمل تحليل النمو في السنوات الاخيرة في الولايات المتحدة من قبل الفسيولوجين ومختصي المحاصيل الحقلية (Radford 1967) . لقد تم طبع كتابين حول الموضوع من قبل (Evans 1972; Hunt 1978)

يتطلب عمل قياسين فقط في فترات متعاقبة لاجراء تحليل النمو هما مساهمة الاوراق والوزن الجاف . وتشق الكميات الاخرى من التحليل باجراء عمليات حسابية (جدول ٨ - ٣) . الطريقة التقليدية المعروفة لتحليل النمو تشمل على اجراء قياسات على فترات طويلة نسبياً (١ - ٢ اسبوع) على اعداد كبيرة نسبياً من النباتات . تشمل الطريقة الثانية على اجراء القياسات بفترات قصيرة (٢ - ٣) يوم على اعداد قليلة من النباتات . ان كلا الطريقتين توفر قيم لمعدلات التغيرات الكمية التي تحصل خلال فترة معينة من الزمن .

الطريقة الثانية التي يتم فيها حصاد النباتات على فترات عديدة اقترحت . بانها
نمطى استخدام افضل للمواد والوقت للباحث (Hunt 1978)

يتحدد الوزن الجاف بالطرق القياسية . ويمكن تحديد المساحة الورقية (وجه
واحد فقط) بطرق عديدة . والطريقة الشائعة حديثاً لقياس مساحة الاوراق
بواسطة جهاز الكتروني ضوئي والذي يقرأ مساحة الاوراق مباشرة عند تغذية
الاوراق الفردية فيه . والطريقة الشائعة الاخرى هي استعمال تحليل انحدار الخط
المستقيم .

$$= a + b (l \times w)$$

حيث ان b الانحدار

l طول الورقة

w عرض الورقة

ومن تحليل الانحدار لـ ٦٠ ورقة حصل المؤلف على معادلة لتحديد مساحة
الاوراق لنبات الفاصولياء الشجرية bush bean $a = 0.624 + 0.583 (l \times w)$. فقد
نشرت معادلات لاغلب نباتات المحاصيل (Sepaskhah 1977)

ومن الطرق الاخرى لتحديد المساحة الورقية تشمل استعمال tracing
الاوراق الطرية على اوراق grid او blueprint او photocopy

لتحديد نسبة المساحة الى الوزن . ومن ثم يمكن تحويل وزن الاوراق الى
المساحة الورقية باجراء حسابات معينة . ويمكن حساب المقاييس الاخرى في
تحليل النمو (جدول ٨ - ٣) . يمكن ان يجري تحليل النمو للنباتات الفردية او
المجتمع من النباتات . يتم عادة اجراء تحليل النمو للنباتات الفردية في المحاصيل
من المراحل الاولى الى المراحل والى الاخرى وهي تشمل على مايلي :

١) معدلات النمو المطلقة والنسبية .

٢) معدل وحدة الورقة او معدل صافي نواتج التمثيل .

٣) نسبة مساحة الاوراق .

٤) مساحة الاوراق النوعية specific

٥) وزن الاوراق النوعي .

جدول (٨ - ٢) تحليل النمو مفتوح من وزن النبات ومساحة الورقة

الرمز	القيمة الوسيطة	المعادلة	الوحدة
معدل التمثيل الغذائي	RGR	$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$	$W \cdot W^{-1} \cdot T^{-1}$
نسبة مساحة الورقة - ١	LAR	$LAR = (L_{a1}/W_1 + L_{a1} + W_1)/2$	$A \cdot W^{-1}$
مساحة الورقة النوية - ٢	SLA	$SLA = (L_{a1}/W_1 + L_{a1}/W_1)/2$	$A \cdot W^{-1}$
وزن الورقة النوية - ٤	SLW	$SLW = (L_{a1}/L_{a2}) + (L_{a1}/L_{a1})/2$	$W \cdot A^{-1}$
معدل صافي فواتح التحلل - ٥	NAR	$NAR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \cdot (\ln L_{a2} - \ln L_{a1}) / (L_{a2} - L_{a1})$	$W \cdot A^{-1} \cdot T^{-1}$
دليل المساحة الورقية - ٦	LAI	$LAI = (L_{a1} + L_{a2}) / 2 \cdot (1/G_d)$	dimensionless
نمو المحصول - ٧	COR	$COR = 1/G_d \cdot (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$	$W \cdot A^{-1} \cdot T^{-1}$
مدة بقائه المساحة الورقية - ٨	LAD	$LAD = (L_{a1} \cdot T_2 - T_1) / 2$	$A \cdot T$
(معدل استهلاك المساحة الورقية)	LAD	$LAD = (L_{a1} + L_{a2}) (T_2 - T_1) / 2$	T
مدة بقائه المساحة الورقية - ٩	LAD	None	
(معدل استهلاك المساحة الورقية)	LAD	None	
مدة بقائه الكتلة الجافة - ١٠	BMD	$BMD = (W_2 + W_1) / 2 \cdot (T_2 - T_1)$	$W \cdot T$

مساحة الورقة = L_a = مساحة الورقة ، W_a = وزن الورقة ، G_d = مساحة الأرض ، T = الوقت
 W = الوزن ، A = المساحة

وعلاقات النمو بين الاعضاء المختلفة (نسبة الجزء العلوي للنبات الى الجنور)
(جدول ٨ - ٣) . يحلل مختص المحاصيل الحقلية عادة نمو المجتمع النباتي لانها
تمثل الحاصل الاقتصادي . وتشمل الكميات المستخدمة في تحليل نمو المجتمعات
النباتية على ،

- (١) دليل مساحة الاوراق .
 - (٢) فترة بقاء المساحة الورقية .
 - (٣) معدل نمو المحصول للمادة الجافة الكلية (عادة الاجزاء النباتية فوق سطح
التربة) والمادة الجافة للحاصل الاقتصادي (مثل البذور . والبرنات) .
 - (٤) معدل صافي نواتج التمثيل . ويمكن حساب معامل التوزيع او معامل دليل
التوزيع (دليل الحصاد) كالنسبة بين المادة الجافة للحاصل الاقتصادي والمادة
الجافة الكلية للنبات .
- التحليل الكامل للنمو يقيم كل من النبات الفردية والمجتمع النباتي .
والمعادلات والرموز والمعلومات الاخرى لحساب المقاييس الكمية في تحليل النمو
مبينة في جدول (٨ - ٣) .

معدل النمو النسبي RELATIVE GROWTH RATE

يعبر معدل النمو النسبي (RGR) عن زيادة الوزن الجاف في فترات معينة
وعلاقتها بالوزن الاولي للنبات . وفي حالات التطبيقات العملية يتم حساب متوسط
معدل النمو النسبي (RGR) من اخذ قياسات في وقت t_1 , t_2
ان المعادلة المستخدمة في حساب معدل النمو النسبي مشتقة من معادلة
compound interest equation التي سبق توضيحها ، $W = W_0 e^{rt}$
حيث ان W يمثل الوزن في الوقت W_0 الوزن الاولي . e الاساسي اللوغارتمي
الطبيعي (٢.٧١٨٢٨) معدل النمو النسبي و t طول فترة الوقت.

يمثل معدل النمو قيمة ثابتة خلال فترة معينة من t_1 الى t_2 وقد
تختلف قيم RGR من الوقت لآخر . يمثل RGR منحدر الخط عند رسم $\log_e W$
ضد الوقت .

يبين المثال في جداول (٨ - ٤) ان نباتات أ و ب ذات معدل نمو نسبي متساوي بالرغم من ان الزيادة في نباتات (ب) كانت ١٠ غم و (أ) كانت ٥ غم . هذا بسبب ان نباتات ب كانت ضعفت وزن نبات (أ) عند الابتدا بالدراسة .

جدول (٨ - ٤) معدل النمو النسبي النظري لنباتين يختلفان في حجمهما

النبات		المقياس
أ	ب	
٥	١٠	الوزن الاول (غم) W_1
١٠	٢٠	الوزن الثاني (غم) W_2
٥	١٠	الزيادة في اسبوع واحد (غم)
$2.40 - 1.60$	$3.20 - 2.40$	لو $W_2 - W_1$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	الوقت $t_2 - t_1$ اسبوع
0.48	0.48	معدل النمو النسبي (غم / غم / اسبوع)

يبدأ عادة معدل النمو النسبي لنباتات المحاصيل بطيئاً بعد الانبات مباشرة ثم يزداد بسرعة بعد ذلك مباشرة وينخفض مرة اخرى . وتختلف الانواع النباتية في معدل النمو النسبي . على سبيل المثال لاحظ (Grime and Hunt 1975) خلال خمسة اسابيع من الانبات اختلافات كبيرة في معدلات النمو النسبية بين الانواع العشبية والخشبية تحت ظروف ملائمة . وتراوح المتوسطات الحسابية لمعدل النمو النسبي من ٠.٢٢ غم / الاسبوع لنبات Sitka spruce الا اعلى معدل ٢.٧٠ غم / الاسبوع لنبات *Poa annus* (الحشيش الازرق الحولي) .

نسبة المساحة الورقية : LEAF AREA RATIO

تمثل نسبة المساحة الورقية (LAR) النسبة بين مساحة سطح الاوراق او انسجة التمثيل الضوئي وانسجة التنفس الكلية للنبات او المادة الجافة الكلية للنبات (جدول (٨ - ٣) .

تعكس نسبة المساحة الورقية الجزء الورقي للنبات الا ان قيم المتوسطات الحاسوبية لنسبة المساحة الورقية غير دقيقة (Hunt 1978) . بعض النباتات مثل عباد الشمس والبنجر السكري تكون ذات نسبة مساحة ورقية عالية مقارنة مع نباتات مثل الصنوبر كما ان معدل نموها نسبي عشرة اضعاف تلك لعباد الشمس والبنجر السكري (Jarvis and Jarvis 1964) وعند تساوي جميع العوامل فان مثل هذه الاختلافات قد تعود الى التنافس الموضعي القوي لعباد الشمس في مرحلة الحداثة juvenile

معدل صافي نواتج التمثيل NET ASSIMILATION RATE

معدل صافي نواتج التمثيل (NAR) او معدل الوحدة الورقية هو عبارة عن الزيادة في نواتج التمثيل واغلبها من التمثيل الضوئي بوحدة مساحة الاوراق والوقت . كما انها تشمل ايضاً الزيادة في العناصر المعدنية الا ان هذا جزء كبيراً لان العناصر المعدنية تمثل % ٥ او اقل من الوزن الكلي . المعادلة لحساب متوسطات قيم الـ (NAR) معدلات صافي نواتج التمثيل (جدول ٨ - ٣) تفترض بأن العلاقة بين وزن النبات ومساحة الاوراق خطية linear . ان هذا الافتراض يكون صحيحاً في المراحل الاولى لنمو للكائن الحي ontogeny وليس للمراحل الاخيرة . التي فيها معدل نمو المساحة الورقية قد يزداد على المادة الجافة والعكس صحيح . ان معدل صافي نواتج التمثيل غير ثابتة مع الوقت بل انها تظهر انخفاض مع تقدم عمر النبات . يزداد التغير بتقدم عمر النبات في الظروف غير الملائمة (Hunt 1978) . وتنخفض الزيادة في المادة الجافة بوحدة مساحة الاوراق عند تكوين اوراق جديدة بسبب التظليل . ان زيادة التنافس على العناصر الغذائية والعوامل الاخرى كذلك مهمة بزيادة عمر وحجم النبات .

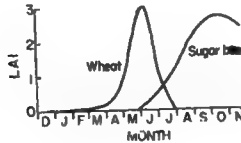
دليل مساحة الاوراق LEAF AREA INDEX

انتاج المحاصيل عبارة الوسائل العملية لاصطياد الطاقة الشمسية وتحويلها الى غذاء ومواد اخرى ذات استخدامات عديدة وعادة تصمم استراتيجيات انتاج المحاصيل لاغراض اكبر كمية ممكنة من الضوء وذلك بتكوين غطاء ارضي كامل من خلال استخدام الكثافة النباتية المثالية وتوزيعها لتشجيع تكون سريع للمساحة الورقية . الارض الجرداء لا تصطاد ولا تحول الطاقة الضوئية . يمثل دليل مساحة الاوراق

(LAI) النسبة بين مساحة الاوراق (سطح واحد فقط) ومساحة الارض التي يشغلها المحصول . يمكن حساب متوسطات قيم دليل المساحة الورقية من المعادلات في جدول (٨ - ٣) .

ان دليل مساحة ورقية مساوي الى واحد الذي يمثل وحدة واحدة لمساحة سطح الاوراق بوحدة سطح الاوراق بوحدة سطح الارض . نظرياً يمكنها اعتراض جميع الضوء الساقط . الا ان هنا نادر الحدوث بسبب شكل الاوراق وسمكها (انتقال الضوء خلال الاوراق) زاوية الوزقة وتغايرات التوزيع العمودي . ان دليل مساحة ورقية بين ٣ - ٥ ضروري عادة لانتاج اعلى مادة جافة لاغلب المحاصيل المزروعة . وقد تتطلب محاصيل العلف مثل الحشائش ذات الاوراق العمودية دليل مساحة ورقية ٨ - ١٠ تحت الظروف الملائمة لاعتراض اعظم للضوء . يتطلب دلائل مساحة ورقية عالية عندما تكون المادة الجافة الكلية ليس الحاصل الاقتصادي . وفي حالة زراعة المحصول (مثل محاصيل العلف) فان زيادة نواتج التمثيل للنمو وادامة التنفس لانتاج البنور او الدرنات غير مطلوبة او مرغوبة .

وتكون غير مرغوبة كما في حالة وجود كميات كافية لانتاج البنور او الدرنات . ويختلف دليل مساحة الاوراق وتوزيعه الفعلي كثيراً بين الانواع (انظر الشكل ٨ - ١٣) . القيم المطلوبة للانتاج العالي تزداد بزيادة مستويات شدة الاشعة الشمسية .



شكل (٨ - ١٣) التغيرات الموسمية في دليل مساحة الاوراق في نباتات المحاصيل المزروعة في العسل .

CROP GROWTH RATE معدل نمو المحصول

معدل نمو المحصول عبارة عن الزيادة العاصلة في وزن مجتمع النباتات بوحدة مساحة الأرض لوحدة الوقت . ويستعمل بصورة واسعة في تحليل نمو المحاصيل الحقلية . يمكن الرجوع الى جدول (٨ - ٣) لحساب متوسطات قيم معدل نمو المحصول (CGR) وبعد حجم ٢٠ غم / م^٢ / اليوم (٢٠٠ كغم / هكتار / اليوم) . متوسط لقيم معدل نمو المحصول مقبول لاغلب المحاصيل الحقلية . وخاصة نباتات ثلاثية الكاربون C₃ و ٣٠ غم / م^٢ / اليوم (٣٠٠ كغم / هكتار / اليوم) للحبوب (٦ بوشل / ايكرا / اليوم) للنباتات رباعية الكاربون C₄ مثل الذرة الصفراء . معدل نمو المحصول للحاصل الاقتصادي مثل الحبوب أو الدرنات يكون مطلوب بنفس المعدلات السابقة أو أكثر . وعند رسم الوزن الجاف الاقتصادي أو الكلي مع الزمن فإن منحدر خط الانحدار لمرحلة الخط المستقيم linear phase (المنحدر = معدل نمو المحصول) يكون عادة متشابهة للأصناف ذات الانتاجية العالية . تتج أو تعطى النسبة بين معدل نمو المحصول للحاصل الاقتصادي ومعدل نمو المحصول للحاصل الكلي كمية مفيدة تسمى معامل التوزيع أو دليل نمو التوزيع (Duncan et al. 1978) . يعبر معامل التوزيع للحصول عن كفاءة بتحويل نواتج التمثيل الى الحاصل الاقتصادي توزيع الاصناف الحديثة لفسق الحقل حوالي ٧٥ ٪ بينما توزع الاصناف القديمة ٤٠ - ٥٠ ٪ فقط (Duncan et al. 1978) . ان حاصل الفسق من الاصناف الجديدة مثل 'Florunner' حوالي ضعف حاصل 'Dixie Runner' والاصناف القديمة الاخرى ذات كفاءة التوزيع المنخفضة .

LEAF AREA DURATION المداة بقاء المساحة الورقية

تشير مداة بقاء المساحة الورقية (LAD) الى مدى ثبات او بقاء مساحة الاوراق او الجزء العرضي للنبات خلال فترة نمو المحصول . تمكس مداة بقاء المساحة الورقية حجم اعراض الضوء خلال الموسم وقد وجد انها ذات علاقة عالية مع الحاصل في العنطة . ويتم حساب متوسط مداة بقاء المساحة الورقية (LAD) من مساحة الاوراق من النباتات الفردية (جدول ٨ - ٣) . وفي المحاصيل الحقلية ان الرغبة الرئيسية هي العلاقة بين مساحة الاوراق ومساحة أو سطح الأرض او دليل مساحة الاوراق LAD. ومتوسط مداة بقاء المساحة الورقية LAD يمكن ايضاً حسابها على هذا الاساس (جدول ٨ - ٣) .

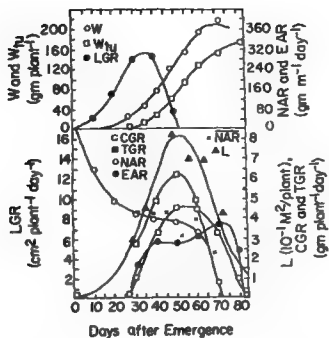
وعند رسم دليل المساحة الورقية مع الزمن تنتج دالة تشير الى قدرة او قابلية المحصول على التمثيل خلال الفترة المرغوبة (شكل ٨ - ١٣) . وجد Watson (1947) باستعمال اربعة محاصيل الشعير والبطاطا والحنطة والبنجر السكري ان متوسطات معدل صافي نواتج التمثيل NAR خلال فترات النمو السريع كانت متشابهة جداً الا ان معدلات مدة بقاء المساحة الورقية LAD للمحاصيل الاربعة قد اختلفت معنوياً (شكل ٨ - ١٣) .

مدة بقاء انتاج المادة الجافة BIOMASS DURATION

ان مدة بقاء انتاج المادة الجافة (BMD) (جدول ٨ - ٣) مشابهة الى مدة بقاء المساحة الورقية . اذا حسبت المساحة تحت منحنى الوقت لانتاج المادة الجافة (شكل ٨ - ١٢) يتم الحصول على قيمة بقاء المادة الجافة بالوقت . وقد تكون هذه الكمية اقل فائدة عندما يستخدم لوحدها في حساب ادامة فقد التنفس مع الوقت . وهي دالة للوزن الحي ودرجة الحرارة . هذه المقاييس المشتقة الاخرى يمكنها المساعدة على فهم افضل لاستجابة المحصول ويمكن ان تستعمل لتكوين او تعميم نماذج لاستجابات النبات للمقاييس او المعالم المقاسة . طبق McCollum (1978) تحليل النمو على بيانات من البطاطا النامية بمستويات مختلفة من الفسفور (شكل ٨ - ١٤) . وكانت منحنيات نمو النباتات المعطاة كميات كامنة من الفسفور سيكمونيد واطهرت اربعة مراحل ontogenetic قبل البزوغ .

- ١ - مرحلة النمو الخضري قبل تكوين الدرنات (من البزوغ الى ٢٨ يوم) .
- ٢ - ابتداء تكوين الدرنات وزيادة حجمها bulking والنمو السريع للاوراق (٢٨ - ٥٠ يوم) .
- ٣ - الاستمرار بنمو الدرنات وقعد الاوراق .
- ٤ - موت ال haulms (٥٠ - ٨٠ يوم) .

ان النباتات النامية بمستويات منخفضة من الفسفور لم تدخل المرحلة الثالثة ابداً . كونت النباتات النامية بمستويات منخفضة من الفسفور ٥٠ % فقط من دليل المساحة . الورقية ، وكانت ذات OGR منخفض في مراحل النمو الاولى وفات NAR منخفض ، مقارنة مع النباتات النامية بمستويات عالية من الفسفور (شكل ٨ - ١٤)



شكل (٨ - ١٤) الاتجاهات الموسمية لمعالم نمو البطاطا (١٠,٠٠٠ نبات / هكتار تحت مستوى فسفور عالي (W)، الوزن الجاف الكلي، W_h، وزن الدرنة الجاف (CGR) . معدل نمو المحصول (TGR) . معدل نمو الدرنة (L)، المساحة الورقية (LGR) معدل نمو الورقة (NAR) معدل صافي التمثيل (EAR) معدل التمثيل الاقتصادي (McCollum 1953،

الخلاصة

النمو والتكوين عمليات مستمرة تعطي النوع صفات مظهرية خارجي .
تتحكم العوامل الوراثية والبيئية بكلا العمليتين . وتعتمد درجة التأثير على صفة
النبات المعينة . يمكن تعريف النمو بأنه انقسام وتوسع الخلايا . الا ان اكثر
التعاريف استعمالاً هو الزيادة في المادة الجافة والتي تشمل على التميز . النمو هو
نتيجة تفاعل العوامل الداخلية العديدة المؤثرة على النمو (تحت السيطرة
الوراثية) مع عوامل المناخ والتربة والعناصر البيولوجية للبيئة . تؤدي معوقات
عوامل النمو الى انخفاض النمو والتكوين وقد تم توضيح وشرح عدة نظريات متعلقة
بتأثير الحد من عوامل النمو ابتداءً مع Liebig في سنة ١٩٦٢ .

References

- Baldovinos, G. 1953. In *Growth and Differentiation in Plants*, ed. W. E. Loomis. Ames: Iowa State College Press.
- Blackman, F. F. 1905. *Ann. Bot.* 19:281-95.
- Blackman, G. E., and G. L. Wilson. 1951. *Ann. Bot. n.s.* 15:373-409.
- Blackman, V. H. 1919. *Ann. Bot.* 33:353-60.
- Briggs, G. E., F. Kidd, and C. West. 1920. *Ann. Appl. Biol.* 7:103-23.
- Daynard, T. B., J. W. Tanner, and D. J. Hume. 1969. *Crop Sci.* 9:831-34.
- Donald, C. M., and J. Hamblin. 1976. *Adv. Agron.* 28:361-405.
- Duncan, W. G. 1981. Personal communication.
- Duncan, W. G., D. E. McCloud, R. L. McGraw, and K. J. Boote. 1978. *Crop Sci.* 18:1015-20.
- Escalada, J. A., and D. Smith. 1972. *Crop Sci.* 12:745-49.
- Evans, C. 1972. *The Quantitative Analysis of Plant Growth*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Fisher, R. A. 1920. *Ann. Appl. Biol.* 7:367-72.
- Gaastera, P. 1963. In *Environmental Control of Plant Growth*, ed. L. T. Evans. New York: Academic Press.
- Grime, J. P., and R. Hunt. 1975. *J. Ecol.* 63:393-422.
- Hammond, D. 1941. *Am. J. Bot.* 28:124-38.
- Hicks, F. J., and G. R. Peterson. 1978. *Calif. Agric.* 32:8-9.
- Hunt, R. 1978. *Plant Growth Analysis*. London: Edward Arnold.
- Janick, J. 1963. *Horticultural Science*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Jarvis, P. G., and M. J. Jarvis. 1964. *Physiol. Plant* 17:654-66.
- Loomis, W. E. 1953. *Growth and Differentiation in Plants*. Ames: Iowa State College Press.
- Macy, P. 1936. *Plant Physiol.* 11:749-64.
- McCollum, R. E. 1978. *Agron. J.* 70:58-67.
- Mitscherlich, E. A. 1909. *Jahrb. Landwirtschaft. Schweiz* 38:537-52.
- Murata, Y. 1969. In *Physiological Aspects of Crop Yield*, ed. J. D. Eastin et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy.
- Radford, P. J. 1967. *Crop Sci.* 7:171-75.
- Sepaskhah, A. R. 1977. *Agron. J.* 69:783-85.
- Stoy, V. 1969. In *Physiological Aspects of Crop Yield*, ed. J. D. Eastin et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy.
- von Liebig, J. 1862. *Die Chemie in ihre Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*. Braunschweig.
- Watson, D. J. 1947. *Ann. Bot. n.s.* 11:41-76.
- . 1952. *Adv. Agron.* 4:101-45.
- Willcox, O. W. 1937. *ABC of Agrobiolgy*. New York: Norton.



البذور والانبات Seeds and Germination

كانت البذور دوماً حيوية لبقاء الانسان . حيث جمع الانسان القديم البذور وحفظها للغذاء والتكاثر . ويمكن ربط ظهور الحضارات القديمة بانتاج محاصيل الحبوب . الحنطة والشعير في منطقة البحر الابيض المتوسط . والرز في جنوب شرق آسيا ، والذرة الصفراء في امريكا الجنوبية والشمالية .

كان الرومان يقدسون سيريز Ceres آله الحبوب . هذا وقد لعبت الذرة الصفراء دوراً رئيسياً في الطقوس الدينية في امريكا القديمة . وتمد البذور الان مصدراً رئيسياً للغذاء والشراب والكثير من العقاقير .

وتعد البذور الجزء الحي الذي يربط الابناء بالاباء والوسائل الرئيسية لانتشار النباتات . واحياناً يجب ان تقاوم البذور ظروف بيئية قاسية جداً (الانجماد ، الحريق ، الفيضان ، هضم الحيوانات) للمحافظة على البقاء . وتبقى البذور الى حين توفر الظروف الملائمة للانبات والنمو .

تعرف البذرة حيويًا بانها بويض مخصب ناضج ، اما زراعيًا فان التعريف يكون اكثر شمولاً . ففي الكثير من الانواع ومنها العائلة النجيلية تعرف بانها ثمرة ذات بويض واحد جافة وغير منفصلة *nondehiscent* (غير منفصلة عن جدار الثمرة) وفي بعض الانواع الاخرى البذرة عبارة عن ثمرة ذات بذرتين جافة وغير منفصلة . وفي البنجر السكري تكون البذور ثمار جافة مجمعة لكل منها بويض منفرد (بذرة مستديرة) . وتوجد اختلافات كبيرة في البذور بين آلاف الانواع المزروعة والبرية . فزيادياً الحجم والشكل واللون (وكيمو حيويًا وفسيولوجياً .

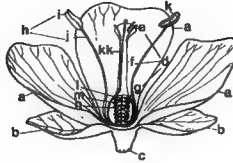
تكوين البذرة Seed Development

تنشأ البذور بانقسام الخلايا الذكرية *microsporogenesis* وانقسام الخلايا الانثوية *megagametogenesis* تكوين حبوب اللقاح (male gametophytes) والكليس الجنيني (female gametophyte) على التوالي (شكل ٩-١). تتكون الخلايا الأمية الذكرية في المتك والخلايا الأمية الانثوية في الكيس الجنيني والتي تحصل فيها انقسامات أخرى. الأول بالانقسام الاختزالي mitosis مكوناً خلايا جنسية احادية الكروموسومات (haploid(n) ومن ثم بالتكاثر الاعتيادي, meiosis. لمضاعفة عدد الكروموسومات وفي النهاية تتكون خلايا او حبوب لقاح مع نواتين والكيس الجنيني بنواتين. ومن ثم تنقسم النواة في خلايا الكيس الجنيني لتكوين خلية البضة egg cell ونواة والتي بدورها تنقسم مرة أخرى لتكوين النوى القطبية polar nuclei للبيوض.

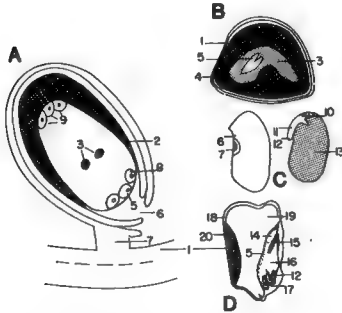
وعند الاخصاب تتحدد احدى النواتين الذكريتين مع خلية البضة في الكيس الجنيني لتكوين الجنين. وبذا يتم تكوين خلايا حاوية على العدد الاعتيادي للكروموسومات (2N). وتتحد النواة الاخرى مع النواة القطبية لتكوين السويداء الاندوسيرم (3N).

تكون السويداء في نباتات ذوات الفلقة الواحدة مميزة وهي الوحدة الرئيسية لتركيب البذرة (شكل ٩-٢). وتتكون بذور نباتات الفلقتين من خلايا بتركيبية غير متميزة موجودة (موضوعة) في خلايا غنية بالبروتين ومحاطة بطبقة خارجيه رقيقة من الخلايا الحية تسمى الاليرون aleurone. ويبين شكل (٩-٣) رسم تفصيلي للوحدات التركيبية لبذور الحبوب (البرة) caryopsis.

في ذوات الفلقتين تمتص السويداء جزئياً أو كلياً بواسطة الجنين وخاصة بالفلقتين cotyledons او اوراق البذرة. ويتكون غلاف البذرة testa من اغشية المبيض الخارجية والتي هي انسجة امية. والسرة hilum عبارة عن اثر العبل السري funicular (اوعية الاتصال). وهذه تساعد على مرور الماء والاكسجين المذاب الضروري للنبات وفي كلا الاتجاهين. يدخل الماء والغازات الذائبة من خلال فتحة النقيير micropyle وهو الاثر المجعري الناتج من دخول انبوب اللقاح الى الاغشية. واحياناً تكون السرة مجهزة بسداد للسماح ببقد الماء وليس امتصاصه (Leopold and Kriedemann 1975).



شكل (٩-١) يبين زهرة نموذجية، (a) الأوراق التوجيهية، (b) الأوراق الكلسية، (c) الثغث، (d) الملقحة، (e) الميسم، (f) القلم، (g) البيض، (h) السداة، (i) لتلك، (j) الخويط، (k) حبوب اللقاح، (kk) أنبوب اللقاح، (l) نواة كميته، (m) خلية البيضة، (n) البويض.



شكل (٩-٢) A بويض نموذجي، B بفرة الينجر، (C) بفرة الفاصولياء، D حبة النرة الصفراء. تتكون كل بفرة من جنين وسويداء وغلاف البفرة والتي تتكون من البيضة والنوى القطبية والاختية. على التوالي، التراكيب الشمرية، (١) غلاف الثمرة (٢) غلاف البفرة، (٣) النوى القطبية (٤) الجوزاء، (٥) البيضة أو الجنين، (٦) فتحة الكيس الجنيني أو النفير، (٧) الحبل السري أو السرة، (٨) الخلية للساعدة، (٩) خلية سميت، (١٠) ورقة حقيقية، (١١) السويقة الجنينية العليا، (١٢) الجذير، (١٣) التفلقان، (١٤) القطعة، (١٥) ضد الروشة، (١٦) السامية الأولى أو السويقة الجنينية الوسطى، (١٧) ضد الجذير، (١٨) طبقة الأليمنون، (١٩) سويداء تشويه، (٢٠) سويداء.

تتكون البذرة الناضجة من اربعة اجزاء مهمة فسيولوجياً وبيئياً للبقاء وهي ، (١) غلاف البذرة ، وهو غلاف للحماية . (٢) الجنين ، عبارة عن نبات جنيني او النبات البوغى (السبوري) *sporophyte* (٣)غذاء وعناصر احتياطية مخزونة لتغذية النبات لحين واعتماده على نفسه . (٤) انزيمات وهورمونات ضرورية لهضم الغذاء الاحتياطي وتمثيل انسجة جديدة في البادرات خلال الانبات . كما وتوفر هذه الصفات (الاجزاء) للبذرة ايضاً آليات حماية لتحمل الظروف البيئية القاسية عندما تكون في حالة سكون *quiescent* (راحة في حال جفاف) . وعندما تكون البذرة الساكنة غير فعالة لكنها حية وهي تبقى على هذه الحالة لحين توفر الظروف المناسبة للانبات . وقد يكون المحتوى الرطوبي ومعدل العمليات الايضية للبذور خلال مرحلة السكون عُشراً (١٠ / ١) او اقل مما في انسجة النبات .

التطور (تكون) ONTOGENY

وجد بأن الوزن الجاف لبذرة الحنطة المثلثة لمحاصيل الحبوب في فترة ثمانية الى عشرة الايام الاولى يتكون اساساً من غلاف البذرة (القصيرة *testa*) او جدار البويض *ovule wall* ، والغلاف الثمري *pericarp* او جدار المبيض (*ovary wall*) وجنين صغير (شكل ٩ - ٤) (Jennings and Morton (1963) . ويزداد الوزن الجاف خلال الاسبوعين القادمين زيادة خطية بسبب التراكم السريع لنشاء الاندوسيرم . وفي نهاية فترة امتلاء البذور تصل المادة الجافة حالة ثابتة (النضج الفسيولوجي *physiological maturity*) . حيث تصبح الزيادة في النمو في حالة توازن مع زيادة النقص بسبب العمليات الايضية . وتختلف فترة نمو البذرة للنباتات المحاصيل من حوالي ٢٠ - ٤٠ يوم اعتماداً على التركيب الوراثي والبيئة وخاصة درجة الحرارة .

الجنين

يتكون الجنين من محور الجنين *embryo axis* والسويقة الجنينية السفلى *hypocotyl* (جزء من محور الجنين يقع مباشرة تحت عقدة الفلق) وفلقة واحدة او فلتتين في احدى النهايتين . والجذير *radicle* في النهاية الاخرى (شكل ٩ - ٢) . تمتص الفلتتين السويداء في البذور البقولية وتشمل على ٩٠ ٪ او اكثر من الوزن الكلي للبذرة . وتحوي بذرة العائلة النجيلية على فلقة واحدة صغيرة تسمى

(scutellum) والتي وظيفتها أثناء الانبات امتصاص المواد المتحللة من السويداء المتفصلة أكثر من عملها في خزن المواد . ماعدى خزن الزيت . هذا وإن طبيعة الخزن في بذور بعض انواع ذوات الفلقتين يكون في كل من الفلق والسويداء .

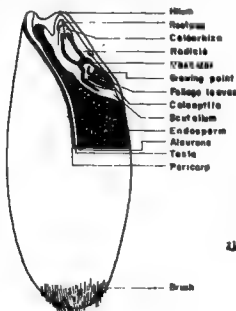
تراكيب خزن الغذاء FOOD STORAGE STRUCTURES

تختلف الانواع بالتركيب الاساسي للغذاء والمعادن المخزونة (جدول ١٩ - ١) .
وقد قسم Bewley and Black سنة ١٩٧٨ البذور حسب تركيب خزن الغذاء الى ثلاثة اقسام .

- ١ - السويداء (الاندوسيرم) (بذور العائلة النجيلية . الخروع . الطمطاطة و ال buckwheat) .
- ٢ - الجنين (بذور العائلة البقولية والفس) .
- ٣ - perisperm من الجوزاء nucellus (البنجر وال yucca والقهوة) .

ويمكن ان يكون أي من التراكيب الثلاثة السابقة التركيب الرئيسي للبذرة . الا انه لا يكون شاملاً كتركيب خزن للبذرة . على سبيل المثال تخزن الكربوهيدرات والبروتين اساساً في الاندوسيرم والزيت في الجنين في بذور النرة الصفراء .

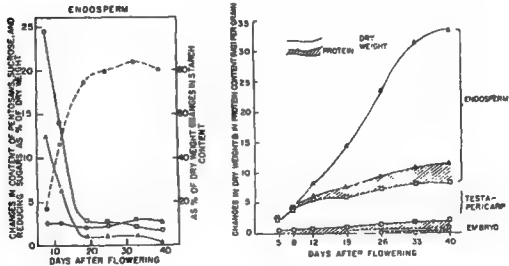
الايرون طبقة خارجية خارجية الاندوسيرم كثيفة وحية وغنية بالبروتين (شكل ٩ - ٣) . وان الاهمية الكيميائية والفسيولوجية للايرون تفوق اهميتها في الخزن .



شكل (٩ - ٣) الشكل الظاهري لبذرة المنطة

البذور الفريدة (الغريبة) UNIQUE SEEDS

لانتج اعضاء العائلة النجيلية وبعض اعضاء العائلة البقولية بذوراً حقيقية ففي العائلة النجيلية تنضج ثمرة ذات بويض واحد وتجف بدون ان تنفصل لتكون ثمرة جافة (بره caryopsis) او بذرة . ويتحد غلاف الثمرة pericarp والقصرة testa (جدار المبيض) لتكوين غلاف البذرة seed coat (شكل ٩ - ٣) . اما في بذور عباد الشمس وال dock وال dandelion فلا يتحد غلاف الثمرة مع القصرة . لذا فان البذرة تكون ثمرة جافة غير منفصلة تسمى فقيرة (achene) . ويكون اتصال البويض الناضج او البذرة الحقيقية رخواً بغلاف الثمرة لذلك تنفصل بسهولة كما هو واضحاً بطيور اكله البذور . وتسمى بذور الخس والحسك cocklebur بال (schizocarp) وهي ثمرة جافة غير منفصلة وذات بويضين ناضجين . اما البذور المسماة (seed ball) في البنجر فهي جافة مجمعة للثمار المنتجة بغلاف الثمرة لازهار فردية متحدة عند قاعدتها وتحوى الاصناف الحديثة على بذرة واحدة (monogerm) مشابهة للثمرة الجافة الفقيرة achene .



شكل (٩ - ٤) (يسار) التغيرات الحاصلة في انوسبرم حبة العنطة بعد التزهير (•) البنتاناس (□) السكروز (△) السكريات المختزلة (O) النشا . كنسبة مئوية من الوزن الجاف وكنسبة مئوية من النشا . (يمين) التغيرات في الوزن الجاف والانوسبرم والبروتين خلال نضج بذرة العنطة (Jennings and Morton 1963)

وتنتج بعض الانواع وخاصة الحشائش والحمضيات بذوراً لاجنسية asexually او بدون اخصاب بعملية تسمى التكاثر الفوري (apomixis) من انسجة امية تحوى ضعف العدد الكروموسومي diploid . ان البذور التي تنتج بطريقة التكاثر العذري تنتج خضرياً وبالتالي فهي تربية حقيقية كالتكاثر الخضري من اجزاء الجنر او الساق . ويتم انتاج بذور العديد من اصناف حشيش كنتاكي (Poa pratensis) بهذه الطريقة .

التركيب الكيماوي للبذور Chemical Composition

تمد البذور مهعة كغذاء للانسان والحيوان ومادة اولية في منتجات عديدة اضافة الى اهميتها في تكاثر الانواع . تُخزن البذور البروتينات والاحماض الامينية ومواد اخرى تختلف كثيراً عن تركيب الانسجة الخضراء . على سبيل المثال تكون البذور غنية في احتوائها من الزيوت بينما يكون محتوى الاجزاء الغضرية قليل .

ويمكن تصنيف البذور الى بنور كاربوهيدراتية او زينية اعتماداً على المادة الغذائية الرئيسية المخزونة فيها . ويمكن ان تكون البذور غنية في احتوائها من البروتين سواء كانت كاربوهيدراتية ام زيتية (جدول ٩ - ١) .

تعتبر المكونات الكيماوية للبذور من اهداف مربى النبات الرئيسية وقد لاحظ Dudley and Lambert سنة ١٩٦٩ تغيير في المحتوى الكيماوي لحبوب الفرة الصفراء بعد ٦٥ جيلاً . حيث كان محتوى الزيت والبروتين عند بدء الانتخاب في الدورة الاولى ٤.٧٧ و ١٠.٩ ٪ على التوالي . وبعد ٦٥ جيلاً اصبحت نسبة الزيت تتراوح من ١٠ الى ١٥.٢ ٪ لسلاسل ذات محتوى منخفض ومرتفع من الزيت . اما البروتين فقد تراوح بين ٤.٩٦ الى ١٩.٥٧ ٪ لسلاسل ذات محتوى منخفض ومرتفع من البروتين . وعادة تتحد المكونات الكيماوية للبذور وراثياً الا ان الظروف البيئية تائيراً عليها كالري والتسميد والعمليات الزراعية الاخرى .

جدول (٩ - ١) نوع الغذاء المحضون وتركيب الغزن الرئيسية في بذور بعض المعاصيل

معدل مكونات البذور (% من الوزن الجاف)				
النوع	البروتين	الزيت	مستخلص التتروجين الحر ^١ (المكون الرئيسي)	الغزن الرئيسي
الذرة الصفراء	١١	٥	٧٥ (نشاء)	الويداء
الذرة السكرية	١٢	٩	٧٠ (نشاء)	الويداء
الشوفان	١٣	٨	٦٦ (نشاء)	الويداء
الحنطة	١٢	٢	٧٥ (نشاء)	الويداء
الشيلم	١٢	٢	٧٦ (نشاء)	الويداء
الشعير	١٢	٣	٧٦ (نشاء)	الويداء
الباقلاء	٢٣	١	٥٦ (نشاء)	الفلق
الكتان	٢٤	٣٦	٢٤ (نشاء)	الفلق
البازلاء	٢٤	٦	٥٦ (نشاء)	الفلق
بازلاء الزينة	٢٥	٦	٥٢ (نشاء)	الفلق
فستق الحقل	٣٦	٤٨	١٢ (نشاء)	الفلق
فول الصويا	٣٧	١٧	٢٦ (نشاء)	الفلق
القطن	٣٩	٣٣	١٥	الفلق
السلجم	٢١	٤٨	١٩ (نشاء)	الفلق
الرقى	٣٨	٤٨	٥	الفلق
الجوز البرازيلي	١٨	٦٨	٦	الجذير ، اللويقة
نخيل الزيت	٩	٤٩	٢٨	الجينية العليا
جوز	٥	١	٧٩ (الكلاويانون)	الويداء
نخلة التمر	٦	٩	٥٨ (الكلاويانون)	الويداء
الخروع	١٨	٦٤	ضئيل	الويداء
الصنوبر	٣٥	٤٨	٦	

المصدر Bewley and Black, 1978

^١ يحوي مستخلص التتروجين الحر على العادة التي هي ليست بروتين او زيت او الياف (من ضمنها السيليلوز) او الرماد (المناسر معدنية) . لذا فان النشاء والسكريات الحرة والديكسترين هي المكونات الاغلبية .

جدول (٩ - ٢) المكونات الكيميائية لبذور فول الصويا

مكونات الأحماض الأمينية لبروتين فول الصويا ^١			
الأحماض الأساسية	الكليية	الأحماض الأمينية غير الأساسية	الكليية
اللايسين	٦,٩	أرجينين	٨,٤
الميثايونين	١,٦	هستيدين	٢,٦
اليسيتين	١,٦	تايروسين	٣,٩
الثرينولين	١,٣	سيرين	٥,٦
الثرينونين	٤,٣	حامض الكلوتاميك	٣١,٠
اليسوليوسين	٥,١	حامض الاسبيرتيك	١٢,٠
ليوسين	٧,٧	الكلايسين	٤,٥
فينيلالانين	٥,٠	اليتين	٤,٥
فالين	٥,٤	البوليولين	٦,٣
		الامونيا	٢,١

١ غم حمض أميني لكل ١٦ غم نيتروجين .

اجزاء الطرد فوق المركزي لبروتين فول الصويا الذائب بالماء .

الجزء .	النسبة في المجموع	المكونات	الوزن الجزيئي
٢ S	٢٢	مشطلات التربين سايتوكروم	٨٠٠٠ - ٢١٥٠٠
٧ S	٢٧	Hemagglutinins Lipoxygenases	١١٠ ٠٠٠ ١٠٢٠٠
		اميليز - بيتا	٦١٧٠٠
١١ S	٢١	٧ S كوليوليولين	٢١٠ ٠٠٠ - ١٨٠ ٠٠
١٥ S	١١	١١ S كوليوليولين	٣٥٠ ٠٠٠ ٦٠٠ ٠٠٠

مكونات الاحماض الدهنية لزيت فول الصويا

الحمض الدهني	النسبة المئوية
مايستيك	٠,١
بالميتيك	١١,٠
بالميتوليك	٠,١
ستيرك	٤,٠
اوليك	٣٣,٤
لينوليك	٥٣,٢
لينولينك	٧,٨
ارجيديك	٠,٣
بيهنيك	٠,١

CARBOHYDRATES الكربوهيدرات

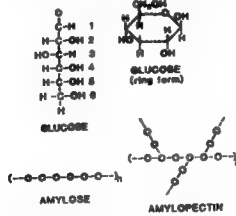
تمد الكربوهيدرات واللييدات احتياط الطاقة الرئيسي في البنور لاجلب النباتات المزروعة والبرية. (Bewley and Black 1978).

تخزن بنور محاصيل الحبوب والمحاصيل البقولية البثرية pulse النشاء (الكربوهيدرات). كما أن بنور المحاصيل البقولية البثرية غنية بالبروتين. ان العديد من الانواع (مثل بنور فول الصويا وفستق الحقل وعباد الشمس والسلجم واقطن) ذات محتوى عالي من الزيت والبروتين وقد تحوي بنور بعض الانواع كميات مهمة من السكريات البسيطة

النشاء Starch.

يعتبر النشاء المخزون اكثر انواع الكربوهيدرات او السكريات العديدة polysaccharide شيوعاً في البنور ويتكون النشاء من نوعان هما الاميلوز amylose والاميلوبكتين amylopectin وكلاهما يتكون من بلمرات polymers ذات سلسلة طويلة من جزيئات الكلوكوز متصلة برابطة الفا ١ - ٤ (٤ - ١) .

ويتكون الاميلوز من سلسلة طويلة من ٢٠٠ - ٤٠٠ جزيئة من الكلوكوز (شكل ٩ - ٥) . اما الاميلوبكتين فيتكون من سلاسل جانبية من الكلوكوز ترتبط بروابط بيتا ١-٦, ١-٤, ١-٣ باللسلة الرئيسية . وقد يعوي الاميلوبكتين على اكثر من الف وحدة كلوكوز وبالتالي فهو ذو وزن جزئي عالي وخواص كيميائية وفيزيائية تختلف عن الاميلوز . وفي اختبار اليود للنشا يتلون الاميلوبكتين باللون الاحمر والاميلوز باللون الازرق .



شكل (٩ - ٥) سكر الكلوكوز ، سلسله كلوكوز مستقيمة شكل حلقة الكلوكوز والاميلوز والاميلوبكتين . يعوي نفاذ النرة الصفراء على ٧٥ ٪ اميلوز و ٧٥ ٪ اميلوبكتين .

ان الاميلوبكتين اكثر لزوجة عند ترطيبه . ان الناتج المطبوخ من نشاء النرة الصفراء الشمعي . اميلوبكتين (tapioca) يكون اكثر جيلاتينيا مما جملة مرغوباً للاستخدام في بعض الاغذية .

يهضم الاميلوز ١٠٠ ٪ بانزيم α -amylase اما الاميلوبكتين فيهضم بمقدار ٥٠ ٪ منه . ويعد الاميلوبكتين اكثر النوعين شيوعاً في البنور . وتحتوي اصناف النرة الصفراء الاعتيادية على مايقارب ٧٢ ٪ اميلوبكتين و ٢٨ ٪ اميلوز . هنا وقد استنبطت اصناف نرة الصفراء تحوي على ١٠٠ ٪ اميلوبكتين (بنور شمعية) او ١٠٠ ٪ اميلوز (بنور نشوية) وهي متوفرة تجارياً . تحوي بنور النرة الصفراء السكرية على سويداء نشوية ذات محتوى عالي من السكر .

ينتج من تحليل نشا الكليكوسان glucosan الكلوكوز glucose (سكر احادي) والمالتوز maltose (سكر ثنائي) وكلاهما ينوب بالماء ويتحول بسهولة الى سكروز sucrose للانتقال الى مرستيمات الجنور والسيقان .

الانيولين Inulin جزيه نشأ صغير نسبياً ويتكون من جزيئات سكر الفركتوز fructose ويعد الغذاء الرئيسي الاحتياطي في بنور الشعير وبنور بعض حشائش

المناطق المعتدلة. الفركتوسان Fructosan يذوب جزئياً بالماء بينما نشاء الكلوكوز غير قابل للذوبان بالماء .

السكريات العديدة الأخرى . Other Polysaccharides.

البنتوزانات , *Pentosans* بلمرات سكر من خمس ذرات كاربون وعادة تتواجد على او في اغلفة بعض البذور . تمتص البنتوزانات الماء بقوة وهي صفة تاقلم تساعد على الانتشار .

وتكون بذور بعض البقوليات غنية بالممانازات, *mannans* وهي بلمرات طويلة السلسلة لسكر المانوز *man-nose* تحوي بذور الجت و *honey locust* على الـ *galactomannan*, والذي يحوي على الـ *mannans* وسلسلة جانبية من سكر الـ *galactose* (ستة ذرات كاربون) . وقد وجد الكلوكوز والارابينوز *arabinose* كسلاسل جانبية في المانوزات .

وبالرغم من ان الهييسيللوز غير معرف جيداً من الناحية الكيميائية فهو غذاء احتياطي مهم في البذور ا. (Bewley and Black 1978) وتصف الممانازات والزيلانات, *xyllans* والكالاكوتونات *calactons* (بلمرات السكريات البسيطة للمانوز والزيلان والكالكتوز على التوالي) بانها هييسيليلوزات . تحوي بذور الكوار (*Cyanopsis tetragonolobus*) على ٢٠٠ ٪ كالـكـسـتـومانـات *galactomannan* الذي يستخدم في مستحضرات العقاقير الطبية وهو الاساس الصناعي لتجارة هذا المحصول .

ان الصمغ *mucilages* عائلة ممقدة للكاربوهيدرات تتكون اساساً من *polyuromides* و *galactomides*. وهي تعمل كغذاء احتياطي , كما انها تعمل ايضا على تغطية غلاف البذرة وتصبح لاصقة عند ترطيبها وتساعد صفة الالتصاق هذه على انتشار البذور بواسطة الحيوانات . وتستخدم صفة الصمغ هذه في اعداد البذور لازالة بعض بذور الادغال من بذور البقوليات الصغيرة . على سبيل المثال . تزال بذور *buckhorn plantain* (*Plantago lanceolata*) من بذور الجت حيث تصبح بذور الدغل لاصقة عند ترطيبها بالماء وتلتصق على الاسطوانة المخملية *velvet roller*, بينما تمر بذور الجت دون التصاق .

البكتينات Pectins بلمرات ذات سلسلة طويلة لحمض الكالكتورونيك galacturonic acid, وهي تربط بين جدران خلايا الصفيحة الوسطى (middle lamella) في البذور وتكون البكتينات أساساً من حمض البكتيك pectic acid والبروبكتين propectin وأملاح الكالسيوم والمغنيسيوم .
ومن الكاربوهيدرات الأخرى الموجودة عادة في البذور الـ stachyose (سكر رباعي، a tetrasaccharide) والـ raffinose (سكر ثلاثي a trisaccharide) والكروز (سكر ثنائي) والسكريات المختزلة مثل الكلوكوز (سكر أحادي) . ويتراكم السكر في المحاصيل السكرية في الجذور أو السيقان وليس في البذور . وتحتوي بذور فول الصويا على كميات لا بأس بها من السكريات المختزلة (سكريات أحادية) (Smith and Circle 1972; Orthoefer 1978).

LIPIDS الليبيدات

تعرف الليبيدات بأنها مركبات تذوب بالايثر والبنزين والكلوروفورم إلا أنها لاتذوب بالماء (Bloor 1928). يشمل تعبير الليبيدات على الدهون fats والزيت oils; تكون الزيوت سائلة بدرجة الحرارة الاعتيادية بينما تكون الدهون صلبة . وتعد الزيوت مركب الطاقة الرئيسي المخزون في عدد من الأنواع وغالباً ما يتواجد في البذور النشوية لحد ما .

وبشكل عام أن الليبيدات استرات esters لكحول الكليسرول glycerol (ثلاثة ذرات هيدروجين) وثلاث أحماض دهنية .



حيث أن R_1 , R_2 , and R_3 أحماض دهنية .

تحدد درجة عدم التشبع (مثل نسبة الأواصر الفردية إلى الأواصر الزوجية بين ذرات الكربون) وعدد ذرات الكربون نوع وصفات الأحماض الدهنية .

وتعد أحماض الأوليك واللينوليك linolenic واللينولينك والتي تتكون من ١٨ ذرة كربون فيها أواصر مزدوجة في ذرات الكربون رقم ٣، ٦، ٩ على التوالي وهي الأحماض الدهنية الأساسية في البذور الزيتية . ويعتمد الحامض السائد على

النوع النباتي (جدول ٩ - ٣) حيث ان حامض الينوليك هو الحامض الدهني السائد في بذور فول الصويا على سبيل المثال . تزرع بعض المحاصيل بسبب صفات مكونات الاحماض الدهنية في البذور . فمثلا يزرع الـ *crambe* للحصول على حامض الـ *erucic* الخروع للحصول على حامض الـ *يسكيرويلك* *lesquerotic* (جدول ٩ - ٣) .

جدول (٩ - ٣) الاحماض الشحمية في بذور نباتات المحاصيل

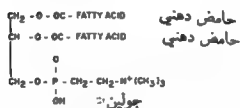
الحامض الشحمي	اصرة الكاربون غير المشبعة النبات
الكاربيلك	C ₇ :0
الكاربرك	C ₈ :0
اللاوريك	C ₁₂ :0
البالميك	C ₁₆ :0
الستريك	C ₁₈ :0
الوليك	C ₁₈ :1
اللينوليك	C ₁₈ :2
اللينوليك	C ₁₈ :3
البروسيك	C ₂₂ :1
الفيرنوليك	Vernonia C ₁₈ :1 + 1 epoxy group
اليسكيرويلك	Lesquerotic C ₁₈ :2 + 1 hydroxy group

يبدو ان البنور المنتجة لاجل احتوائها العالي من الزيت تحوي ايضاً على نسبة عالية من البروتين . هذا وان القيام بالانتخاب لاجل تحقيق هدف معين يؤدي الى تحقيق هدفاً آخر .

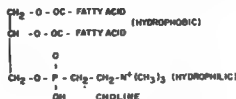
يستخلص زيت النخيل من الثمار اللحمية لاشجار النخيل بدلاً من البنور وفي صناعة زيت النخيل لانتج منها كمية عالية بالبروتين كنتاج ثانوي كما هو الحال في فول الصويا . ان حاصل الزيت من فول الصويا اقل بكثير من حاصل زيت النخيل على اساس وحدة المساحة . الا ان فول الصويا قد حافظ على موقع منافسة قوية في السوق بسبب اهمية وقيمة الكسبة الناتج بعد استخراج الزيت .

الشموع *Waxes*, استرات لاحماض شمعية وكحول يحوي على ذرة هيدروجين واحدة *monohydric* تتواجد بشكل خاص في أغلفة البنور وهي صلبة بدرجة حرارة الغرفة .

الليبيدات المفسفرة **phospholipids** مهمة في ايض الاغشية والخزن وتعمل كاحتياط للطاقة والفسفور لنمو البادرات . والليبيدات المفسفرة استرات لاحماض دهنية وكحول . وعلاوة على ذلك فهي تحوي على مجموعة فوسفات ونايتروجين وجولين *choline* (شكل ٩ - ٦) . والليثين *Lecithin* من الليبيدات المفسفرة الشائعة الانتشار في الطبيعة ومهم جداً في الاستخدامات التجارية . ليسيثين فول الصويا تعبير يستخدم في الصناعة يشمل على خليط من ثلاثة ليبيدات مفسفرة هي الليسيثين والسيفالين *cephalin* والفايتين *phytin* (Smith and Circle 1972). ويعتبر السيفالين مهم في بنور فول الصويا وبعض البنور الزيتية . ان الاحماض الشمعية الرئيسية لليسيثين والسيفالين هي النولك والوليك والبالميك *palmitic* والهكساديكانول *hexadecanoic* .



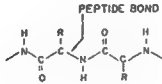
تتحلل الليبيدات الى مكوناتها الاحماض الشمعية والكريسول . وتنتقل هذه المركبات الايضية بسهولة الى محور الجنين حيث تتأكد خلال دورة كربس *Krebs cycle* . او خلال مسار دورة فوسفات البنتوز *pentose* وتستخدم القلويات القوية لتحلل الدهون بعملية تسمى التصبين *saponification* . وتحول الزيوت الى دهون تجارياً بتشحع الاواصر المزوجة للاحماض الدهنية بالهيدروجين وتسمى هذه العملية *hydrogenation* .



شكل (٩ - ٦) ليبيدات الليثين المفسفرة

البروتينات Proteins

البروتينات احتياطي النايتروجين في البذور لنمو البادرات وهي بلمرات للاحماض الامينية amino acids تتصل مع بعضها باواصر البيتايد peptide bonds (شكل ٩ - ٧) ويوجد في الطبيعة عشرون حامضاً امينياً يتكون منها البروتين . وقد يترتب قسماً منها او جميعها مع تغيير في التكرار لتكوين جزيئات البروتينات المختلفة لذا فان جزيئات البروتين تكون كبيرة جدا ومعقدة وذات وزن جزيئي عالي (٤٠,٠٠٠ او اكثر) ، وتختلف كيميائياً الى ما يقارب اللانهاية . ينظم ترتيب الاحماض الامينية في النظام البيولوجي بالتوكليدايات العديدة DNA و polynucleotides RNA . ويزداد تعقيد البروتين باواصر الهيدروجين (H) وهو ارتباط عبور ضعيف بين ذرات الهيدروجين والاكسجين في الجزيئات كذلك باواصر هيدروجين الكبريت sulfhydryl . وفسيولوجيا يعتبر البروتين نسيج الحياة في البذور والانسجة النباتية الحية الاخرى .



شكل (٩ - ٧) اصرة بيتايد . وهي اصرة ذات طاقة واطلة تكون بين الكاربون والتشروجين .

وكما ذكرنا مسبقاً بان الاحماض الامينية في بروتين البذور تختلف عن ماهو في الاوراق والانسجة الخضراء . وعادة ينقص بروتينات البذور أحد الاحماض الامينية الاساسية الثلاثة (المطلوبة او الضرورية في غذاء الحيوانات المجترة) وهي الليسين lysine, والتربتوفان tryptophan, والميثايونين methionine وذلك اعتماداً على نوع النبات والصف لذلك فعند استخدام مصدر بروتيني واحد فان بروتين البذور يعتبر ذو قيمة غذائية وبايولوجية منخفضة لتغذية الحيوانات (ذات المعدة البسيطة) والانسان مقارنة بالبروتين الحيواني .

وقد قسم Osborne سنة ١٩٢٤ البروتين استناداً الى قابليته للنوبان وطريقة عزله الى ماييلي .

١ - الألبومينات *Albumins* تنوب بالماء ذي ال pH المعتدل او الحامض القليل . وتتخثر بالحرارة . وتعتبر الانزيمات وبياض البيض غنية بالألبومين .

٢ - الكلوبيولينات *Globulins* تنوب بالماء ومحاليل الاملاح ولا تتخثر بسهولة بالحرارة . وتعد بذور البقوليات غنية بالكلوبيولين (مثل الكلايسينين *glucinin* في فول الصويا)

٣ - الكلوطينات *Glutelins* لا تنوب بالماء الا انها تنوب بالمحاليل الملحية والحامضية والقاعدية القوية . وتعد حنطة الخبز غنية بالكلوطينين . بروتين كلوتيني . يعطي الكلوطين القدرة لمجين الخبز على التمدد او الارتفاع .

٤ - البرولامينات *Prolamins* تنوب في ٧٠ - ٩٠ % كحول . ان حبوب المحاصيل الحبوبية غنية بالبرولامين (مثل بروتين الزين *zein* في بذرة الفرة الصفراء) بينما تعد البرولامينات احتياطي جيد للنايتروجين لنمو البادرات . فهي ذات نوعية منخفضة حيويًا وغذاءً للحيوانات ذات المعدة البسيطة

وبصورة عامة تعتبر محاصيل الحبوب ذات محتوى عالي من بروتينات البرولامين والكلوطينين . هذا وان الشوفان يشذ عن هذه القاعدة حيث يحوي فيه البروتين على ٨٠ % كلوبيولين (Mayer and Poljakoff: Mayber 1963).

تختلف بذور المحاصيل البقولية البذرية عن محاصيل الحبوب . حيث تكون بذور النوع الاول غنية بالكلوبيولين والبيومين موضحاً بذلك نوعية غذائية افضل من النوع الثاني .

تشمل البرولامينات المهمة في محاصيل الحبوب على الزين *zein* في الفرة الصفراء والكليدين *gliadin* في الحنطة والهوردنين *hordenin* في الشعير (Bewley and Black 1978) . وتحوي بذور محاصيل الحبوب على بعض الكلوطينات المهمة مثل ال *zecanin* في الفرة الصفراء وال *glutenin* في الحنطة والهوردنين *hordenin* في الشعير والاورايزينين في الرز . ومن الكلوبيولينات المهمة الموجودة في بذور بعض البقوليات الكيومين *legumin* ، الفازيلين *vicilin* ، والكلايسينين *glycinin* ، والفيجينين *vignin* ، والاراجين *arachin* .

ولا تحوي برولامينات محاصيل الحبوب وخاصة الزيت على الليسينين والتربتوفان . لذا فان نوعية بذور الفرة الصفراء كمصدر وحيد للبروتين يعتبر منخفض وخاصة للحيوانات ذات المعدة البسيطة .

ويعود سبب عدم توازن الاحماض الامينية في بنور المحاصيل البقولية البذرية وفول الصويا خاصة الى نقص الميثايونين . تكمل بنور الذرة الصفراء وبنور فول الصويا احدهما الاخرى في العليقة مكوناً مصدراً بروتينياً جيد التوازن في احتوائه على الليسين والميثايونين . ففي الانبات يتحلل البروتين الى احماض امينية تنتقل ويعاد تمثيلها في محاور الجنين الى بروتين متوازن في مكوناته من الاحماض الامينية . لذلك فان البنور النابتة sprouts تجهز بروتين ذي نوعية ممتازة وتستخدم بصورة واسعة في تغذية الانسان (مثل بنور الجث والفاصوليا الثابتة) .

يتواجد البروتين المخزون في البنور ايضاً كلكتينات *lectins* وهي بروتينات سكرية *glycoproteins* (بلمرات بروتين سكري) . ان اكثر من ٨٠ ٪ من بروتين فول الصويا يكون على صورة ليكتين (Daubert 1950)

المركبات الاخرى في البذور

يجب ان تحوي البنور على عناصر كافية لتجهيز البادرات حتى تصبح معتمدة على نفسها في صنع الغذاء ان مكونات البذور من العناصر المعدنية مشابهة الى ما هو في الانسجة النباتية الاخرى ماعدا المحتوى العالي من الفسفور وبعض العناصر المعدنية الاخرى بصورة عضوية (كلاية *chelate*) ويعد الفاتين (*phytate*) *phyrin* المصدر الرئيسي للفسفور كما انه يحوي على املاح عضوية معقدة للكالسيوم والمغنيسيوم والمنغنيز والبوتاسيوم (Copeland 1967) . وتتحلل هذه العناصر عند الانبات بانزيم الفاييتيز *phytase* . بتركيز الفاييتين في طبقة الالبيرون في بذور العائلة النجيلية وفي الفلقتان في بنور ذوات الفلقتين . هذا وتختلف الانواع والاصناف في احتوائها على الفاييتين .

ان القلويدات *Alkaloids* مركبات نايتروجينية حلقة موجودة في البنور والاجزاء النباتية الخضراء الاخرى . وتسبب القلويدات نكهة وروائح قوية وربما تكون سامة للنباتات والحيوانات الاخرى . ومن القلويدات المعروفة جيداً النيكوتين والكافين والمورفين والسترايسنين *strychnine* والثيوبرومين *theobromine* (الشاي) . ويوجد الكرامين *Gramine* في الاجزاء الخضرية للحشائش العلفية مسببا خفض في الاستساغة مما يؤدي الى قلة استهلاك العلف وربما يكون مضراً الى صحة الحيوان (Martin and Heath 1973) . وتعمل قلويدات البنور بصورة رئيسية

كمشط للأنبات . وقد يكون وجود القلويات نظائر كيميائية في بيئة النبات الطبيعية . ومن المحتمل انها تقوم بحماية البادرة الصغيرة من التنافس .

تحتوي بذور بعض الانواع على مركبات فينولية (مثل التانينات tannins وحمض الكلوروجينيك chlorogenic acid والكومارين وحمض الفيريك furelic acid وحمض الكافيك caffeic . كما تصنف هذه المركبات ايضا بانها لآكتونات lactones . ويمكن ان تثبط اللاكتونات الانبات وبهذه فهي تعمل كآلية سكون .

تعد البذور بانها مصدر غني بالفيتامينات وخاصة بمقد B والاحماض الامينية الحرة والسكريات والاحماض النووية الموجودة بتركيز منخفضة . كما تحوي البذور على منظمات نمو هي الاوكسينات والجبرلينات والسايتوكاينيات ومثبطات نمو التي تقوم بوظائف حيوية في عملية الانبات ونمو البادرات .

ويعتبر الزيتين zeatin اول سايتوكاينين طبيعي قد عزل من بذور الذرة الصفراء .

الانبات

يعتمد تعريف مصطلح الانبات على ماهو المقصود به او على وجهة النظر فقد يكتفي محلل البذور بالتغير المورفولوجي (المظهري) مثل خروج الجذير . اما المزارع فيعني الانبات بالنسبة له بزوغ البادرات . seedling emergence .

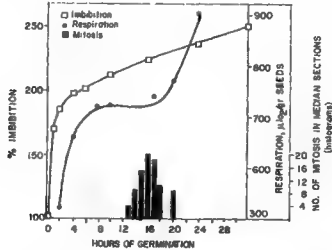
اما تطبيقيا فالانبات هو استعادة النمو الفعال الذي ينتج عنه تمزق غلاف البذرة وبزوغ البادرات (Amen 1965) . يشمل الانبات على الاحداث الفسيولوجية والمورفولوجية التالية (Toole and Hendricks 1956)

- ١ - تشرب وامتصاص الماء
- ٢ - تمیء الانسجة .
- ٣ - امتصاص الاوكسجين .
- ٤ - تنشيط الانزيمات والهضم .
- ٥ - انتقال الحزيئات المتحللة الى محاور الجنين .
- ٦ - زيادة التنفس والتمثيل .

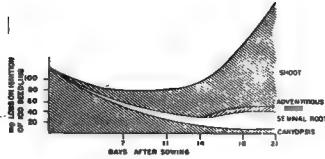
٧- نشوء انقسام الخلايا واستطالتها.

٨- بزوغ الجنين .

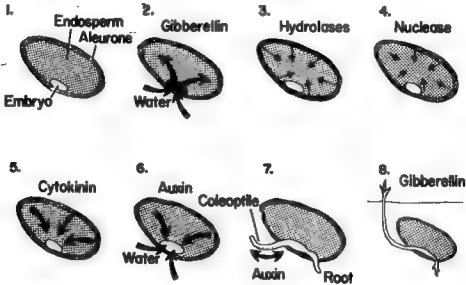
يصل تشرب الماء قمته خلال ساعتان في بذور البصل بينما يبدأ التنفس بعد ساعتان ويصل القمة الاولى بعد ثمانية ساعات (Mayer and Poljakoff Mayber 1967) (شكل ٩-٨) . وبعد وصول التنفس القمة الاولى تبدأ القمة الثانية بعد حوالي ١٦ ساعة وتصل ذروتها بعد حوالي ٢٤ ساعة او اكثر . ان وجود قمتين (ذروتين) للتنفس يفسر ارتباطها بالتحلل الكيميائي والتمثيل على التوالي . يحصل الانقسام الجسمي Mitosis بعد ١٢ ساعة ويصل ذروته بعد ١٦ ساعة . يؤكد تطور الانبات وجود مرحلتين ابيضيتين واضحتين هما التحلل الانزيمي . للغذاء الاحتياطي المخزون وتمثيل انسجة جديدة من المركبات المتحللة (مثلا من السكريات المتحررة والاحماض الامينية والاحماض الدهنية والعناصر المعدنية) . ففي نمو محور الجنين يكون معدل النمو الاولى للجذير اسرع من نمو الرويشة وهو عادة اول جزء يظهر من الغلاف الممزق . ويصبح الوزن الجاف للساق اكثر من وزن الجذير بعد عدة ايام وينخفض الوزن الكلي للبذرة المكونة بادارة خلال عشرة ايام بسبب الفقد الناتج من التنفس (شكل ٩-٩) . ويبدو بان ترتيب نمو الجنين قبل نمو الساق له فوائد في البقاء والمحافظة على البادرة . وتنشأ الفوتوهورمونات وتنظم عمليات الانبات الرئيسية . وتوجد فعاليات عديدة معروفة لهورمونات النمو (شكل ٩-١٠) اهمها .



شكل (٩-٨) التغيرات الفسيولوجية في بذور البصل خلال الانبات (Mayer and Poljakoff-Mayber 1967)



شكل (٩ - ١) توزيع الوزن الجاف في البغرة والجذر والساق في الشمر خلال الـ ٢١ يوماً بعد الانبات (Anslow 1962)



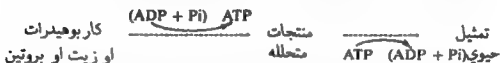
شكل (٩ - ١٠ - ١١) . (١) انبات بذور محاصيل الحبوب تحت سطح التربة ينظم بمعد من الهرمونات العاملة كما يلي - يؤدي امتصاص الماء من التربة الى انتاج (٢) كمية قليلة من الجبريلين في الجنين (٣) ثم ينتقل الجبريلين الى خلايا طبقة الالبون التي يحيط خلايا خزن الغذاء في الاندوسيرم مؤدياً الى انتاج الانزيمات (٤) والتي بدورها تؤدي الى تحلل خلايا الاندوسيرم (٥.٦) تتكون السايتوكاينينات والاوكتينات في هذه العملية تم تشجيع نمو الجنين وذلك بتحريضها انتساب الخلايا وتوسعها (٧) ولذا توجه الساق الى الاسفل في التربة فان الاوكسينات تنتقل الى القمة السفلية للبادرة مسبباً نمواً سريعاً وبالتالي تؤدي الى اتجاه الساق الى الاعلى باتجاه سطح التربة (٨) وعندما يخرج الساق الى ضوء الشمس فوق سطح التربة يبدأ النبات بانتاج غذائه بالتمثيل الضوئي (Van Overbeek 1966)

- ١- تنشط الجبرلينات انزيمات تحلل الهضم .
- ٢- تحفز السايٹوكاينينات انقسام الخلايا الذي يؤدي الى بزوغ الجذير والرويشة وان غمد الجذير *coleorhiza* اول الاجزاء التي تخرج من البذرة نتيجة التوسع الخلوي .
- ٣- تشجع الاوكسينات النمو بتوسيع غمد الجذير والجذير والرويشة . وينشط الانتحاء الارضي (مثل تصحيح اتجاه نمو الجذر والساق . بغض النظر عن اتجاه البذرة) .

METABOLISM OF STORED FOODS

أيض الغذاء المخزون

الانبات وبزوغ البادرات ذات متطلبات عالية من الطاقة من خلال تنفس الغذاء الاحتياطي للبذرة . وتطلق الطاقة الموجودة بأواصر كيميائية في الكاربوهيدرات والدهون والبروتينات بالهضم والفسفرة التأكسدية التي تنتج النيوكليوتايدات *nucleotides* الغنية بالطاقة مثل الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) في الميتاكوندريا (منطقة التنفس) . وتحرر الطاقة للعمليات الحيوية عندما يتحول الـ ATP الى ادينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) كما يلي ،



تتحلل النشويات بانزيمات الفا وبيتا اميليز α - and β -amylase بمساعدة الجبرلينات الى مالتوز *maltose* (سكر ثنائي) وسكر الكلوكوز وقد بين Van Overbeek بوضوح دور هورمونات النمو في التحلل وبزوغ البادرات (شكل ٩-١٠) . يتحول بعض الكلوكوز بانزيم *invertase* الى سكروز وهو السكر الشائع الانتقال في النباتات . ويتحلل الكلوكوز ايضاً بوساطة (١) تحلل السكر (انشطار السكر) او الانحلال الكيكملي *glycolysis* والذي يتكون فيه جزئتين هما حامض البايروفك *pyruvic acid* والـ ATP و (٢) التأكسد بدورتى كيربس *Krebs* وحامض الكاربوكسيلك الثلاثي *tricarboxylic acid* التي يستطيع اكسدة مركبات الحامض الوسطية الى ثاني اوكسيد الكربون والماء والـ ATP او بالتبادل بدورة مسار فوسفات البنتوز *pentose phosphate pathway shunt*

يتحلل الدهن بانزيم الاليسيز *lipase* الى كليسرول واحماض دهنية. هذا وتحلل الاحماض الدهنية مرة اخرى بانزيمي *peroxidase* و *aldehydogenase* في تأكسد الفا الذي يزيل ذرات كاربون متلاحقة لانتاج ثاني اوكسيد الكاربون وتخزن الطاقة ($NADPH$). وان التحلل الاكثر شيوعاً للاحماض الدهنية يكون بانزيم β -oxidase الذي يفصل الاحماض الدهنية الى وحدتين تتكون من ذرتي كاربون. استيتيل مرافق انزيم $ATP(acetyl$ $coenzyme A)$ A وقد يدخل استيتيل مرافق انزيم A في دورة كريس *Krebs* ليتأكسد مرة اخرى وانتاج ال ATP .

يؤدي انزيم ال *Protease* الى كسر اواصر الببتايد في جزئيات البروتين منتجاً احماضاً امينية. هذا وان مصير الاحماض الامينية يكون كما يلي :
(١) اعادة تمثيلها الى بروتينات جديدة في النمو (٢) انتقال مجموعة الامين من العماض الاميني الى حامض عضوي او (٣) نزع الامينات *deamination* وهو التحلل المائي للاحماض الامينية الى احماض عضوية وامونيا. وتدخل جنور العماض العضوي دورة كريس لأكسدة لاحقة.

ويتحرر الفسفور من الفاييتين *(inositol hexaphosphate)* بانزيم *phytase*. وقد تحلل اللييدات المفطرة محررة الفسفور ولكن بدرجة اقل ويتواجد الفسفور في انسجة النبات اساساً كمكون للنيوكليوتايدات ($ADP, ATP, NAD, NADP$) واحماض نووية ولييدات مفطرة وبروتينات مفطرة وسكريات مفطرة.

معامل التنفس RESPIRATORY QUOTIENT

تنفس البذور النابتة بسرعة. الا انه من الصعب قياس التنفس في البذور الساكنة. يستهلك التنفس الهوائي الاوكسجين ويحرر ثاني اوكسيد الكاربون. وتسمى نسبة حجم ثاني اوكسيد الكاربون المتحرر الى حجم الاوكسجين المستهلك بمعامل التنفس $(R.Q.) = (CO_2/O_2)$. ويشير معامل التنفس الى نوع المادة المستهلكة ونهاية التحلل = ان معامل تنفس الكلوكوز واحد. بينما معامل تنفس النشاء يقارب الواحد (Copeland 1967). ومعامل تنفس الدهون ٠.٧ بسبب المتطلبات العالية للاوكسجين للاحماض الدهنية غير المشبعة.

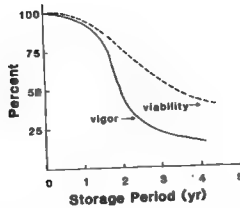
القدرة على الانبات والحيوية GERMINABILITY AND VIABILITY

تكون البذور الناضجة حية قبل او عند فصلها من النبات الام . الا انها لا تنبت (لها القدرة على الانبات تحت الظروف المناسبة) . وتكون بذور بعض الانواع ساكنة الا انها تصبح قادرة على الانبات فقط بعد تعرضها لمجموعة من الظروف الخاصة . ان بذور المحاصيل حية وساكنة (حية الا انها لا تنبت بسبب نقص البيئة الملائمة للانبات . مثلاً قلة الماء او عدم توفر درجة الحرارة المناسبة) وعادة تكون لها القدرة على الانبات عند انفصالها عن النبات الام . وتبقى بذور العديد من الانواع البرية او ربما اغلبها وبعض انواع محاصيل الحبوب ساكنة لا تنبت عند توفر الظروف الملائمة للانبات (بالرغم من وجود ظروف مناسبة للانبات لذا فان القدرة على الانبات والحيوية قد تختلف بمقدار ١٠٠ ٪ لمجتمعات بذور مختلفة ولا يحصل الانبات الا بعد فقد السكون بالرغم من ان البذور قد تكون حية ولها القدرة على الانبات بصورة كاملة . هذا وتوجد اختبارات معتمدة لاختبار القدرة على الانبات (اختبار الانبات القياسي) واختبار الحيوية (اختبار التيترازوليوم *tetrazolium*) وبصورة عامة تنخفض حيوية البذور وتزداد قدرتها على الانبات مع زيادة عمرها بسبب تخلصها الطبيعي من عوامل السكون .

متطلبات الانبات

العوامل البيئية

يتطلب انبات البذور الساكنة او فترة بعد النضج توفر الماء ودرجة الحرارة وظروف جوية ملائمة (شكل ٩ - ١١) . وعموماً فان الظروف الملائمة لنمو البادرات تكون ايضاً ملائمة للانبات . تختلف بذور الانواع المختلفة في درجة سكونها سواء بسبب عوامل بيئية او وراثية . ولا يحصل الانبات الا بعد حدوث ما يسمى بعد النضج *after-ripening* (فقد السكون من خلال تعرض البذور للظروف البيئية لفترة زمنية كافية) (Meyer and Anderson 1949) . ويتم حصول بعد النضج للبذور الساكنة بتعرضها الى مجموعة من الظروف البيئية الخاصة (او في الكثير من الانواع يتم عادة تعيير البذور *ageing* لسنوات عديدة) . وتصبح بذور اغلب المحاصيل قادرة على الانبات في المخازن الجافة خلال النضج . او بعده مباشرة . لذا فان انبات بذور المحصول في الموسم القادم لاتعد مشكلة قائمة الا ان قلة السكون الكافي للراحة الطبيعية في نباتات المحاصيل يمكن ان يسبب



شكل (٩ - ١١) قد الحيوية والفلزارة أو القوة في بنور المحاصيل وعلاقتها بطول فترة التخزين بوجود درجات حرارة ورطوبة عالية .

مشاكل مع بعض الاصناف اذا كانت الرطوبة مرتفعة خلال نضج البنور . وقد يؤدي هذا الى انبات البنور وهي لا تنزل على السابل او الرؤوس قبل الحصاد (انظر شكل ٩ - ١٢) . وعادة تكون اصناف فستق الحقل من النوع الاسباني Spanish-type ذات سكون غير كافي لمنع نمو الثمار (القترات) من تحت سطح التربة قبل قلمها . لذا ففي البيئات الرطبة يفضل زراعة اصناف يكون السكون فيها كافي لضمان وجود فترة راحة حتى يتم جني المحصول بصورة كاملة .

الماء

تشرب الماء هي اولى عمليات الانبات . وتشرب البنور الحية والميتة بالماء وتنفتح . وتعتمد كمية التشرب على المكونات الكيميائية للبنور .

تعتبر البروتينات والصمغ والبكتينات اكثر غروياً وتحللاً من النشويات لذا فانها تشرب ماء اكثر . وتشرب بنور محاصيل الجبوب مثل الفرة الصفراء ما يعادل ثلث وزنها ماء . بينما تشرب بنور فول الصويا نصف وزنها ماء . وعادة يعتبر مستوى رطوبة التربة عند السعة الحقلية محتوى رطوبي مثالي للانبات ويكون الانبات بمعدلات واطئة عندما تكون رطوبة التربة قريبة من نقطة الذبول . ان وجود محتوى مائي اقل من المثالي يؤدي عادة الى تشرب جزئي مما يقلل الانبات . وقد تتربط وتجف البنور عدة مرات خلال عملية الانبات . وقد يسبب

هذا فقد في حيوية البذور . وتعتمد درجة الفقد في الحيوية على النوع وعدد دورات الترطيب والتجفيف . وتؤثر مكونات الوسط وخاصة محتوى المحلول على جاهزية الماء . فقد وجد Ryan (1973) انه عند زيادة التركيز الازموزي تقل جاهزية الماء . الا ان بعض الايونات وخاصة الصوديوم والمغنيسيوم تؤثر على الانبات اكثر من جاهزية الماء

درجة الحرارة

يشمل الانبات على عمليات عديدة من الـ *catabolism* والـ *anabolism* التي تنظم انزيمياً . ماعدا التشرّب . لذا فان الانبات يستجيب بصورة عالية لدرجات الحرارة . ان درجة الحرارة الاساسية *cardinal temperatures* (درجة الحرارة العظمى *maximum* ودرجة الحرارة المثالية *optimum* ودرجة الحرارة الصغرى *minimum*) . لانبات بنور اغلب المحاصيل هي نفس درجات الحرارة الطبيعية التي يحتاجها النبات للنمو الخضري (جدول ٩ - ٤) . ودرجة الحرارة المثالية هي الدرجة التي تعطي اعلى نسبة انبات باقصى فترة زمنية وقد انبتت البذور غير المعرضة لفترة بعد النضج والتي فيها سكون جزئى او نسبي (Boriss 1949) في مدى ضيق من درجة الحرارة الحرارة . مثلاً ٥ - ١٥ م لانواع درجات الحرارة المنخفضة (Amen 1968)

اما البذور التي تمر بفترة بعد النضج (كما هو موجود في بذور اصناف اغلب المحاصيل) فليس لها مثل هذا المدى الضيق من درجات الحرارة للانبات . وتتداخل درجات الحرارة الاساسية لانبات بذور المحاصيل المختلفة الا ان معدل الانبات للجميع يكون بطيئاً عند درجات الحرارة المنخفضة .

ان بذور بعض الانواع تكون حساسة جداً لدرجات الحرارة الباردة اثناء الانبات وخاصة اثناء التشرّب بالماء . ان انبات بذور العديد من الحشائش والاشجار يستفيد من الاختلافات اليومية في درجات الحرارة لاسباب غير مفهومة جيداً . ويبدو بان بذور العديد من الانواع البرية او الانواع التي دجنها الانسان منذ فترة زمنية قصيرة تكون ذات سكون نسبي يستجيب للتغاير الحاصل بدرجات الحرارة .

- ١) العمليات الحيوية الهيمية . هدم المركبات المعقدة لاجزاء مركبات بسيطة .
- ٢) العمليات الحيوية التناكفية / وهي عمليات تتعلق بالتركيب الحيوي لمكونات الخلية من جزيئات الى خلية .

جدول (٩ - ٤) مدى درجات الحرارة التي يحصل فيها الانبات لبذور انواع مختلفة

درجة الحرارة (م)			
البذور	الحد الأدنى	المثالي	الحد الأعظم
الذرة الصفراء	٨ - ١٠	٢٢ - ٢٥	٤٠ - ٤٤
الرز	١٠ - ١٣	٢٠ - ٢٧	٤٠ - ٤٢
الحنطة	٣ - ٥	١٥ - ٢٦	٣٠ - ٤٣
الشمير	٣ - ٥	١٩ - ٢٧	٢٠ - ٤٠
الشيلم	٣ - ٥	٢٥ - ٢٦	٢٠ - ٤٠
الشوفان	٣ - ٥	٢٥ - ٢٦	٢٠ - ٤٠
	٣ - ٥	٢٥ - ٢٦	٢٥ - ٤٥
	٠.٥ - ٢	٢٠ - ٢٥	٢٥ - ٤٠
التبن	١٠	٢٤	٣٠

الغازات

يتطلب الانبات مستويات عالية من الاوكسجين الا اذا كان التنفس الذي يصاحب الانبات يحصل بعملية التخمر fermentation . هذا وتستجيب اغلب الانواع جيداً لمحتوى الهواء الجوي الحاوي على ٢٠ ٪ اوكسجين و ٠.٣ ٪ ثاني اوكسيد الكربون و ٨٠ ٪ نيتروجين . ويؤدي عادة خفض محتوى الاوكسجين الى اقل من ٢٠ ٪ الى تقليل الانبات . ويمكن ان تنبت بذور الرز في ظروف عديمة الهواء الا ان ذلك يسبب ظهور بادرات غير طبيعية . بينما يفضل انبات بذور اغلب الانواع في محتوى تركيز الاوكسجين الموجود في الهواء الطبيعي او اعلى منه نجد ان بذور cattail (*typha latifolia*) وحشيش برمودا (*Cynadon dactylon*) تنبت افضل بتركيز اوكسجين اقل من التركيز الطبيعي (Morinaga 1926) يفضل انبات بذور حشيش برمودا بتركيز عالي من ثاني اوكسيد الكربون على تركيزه في الهواء الطبيعي (Mayer and

Poljakoff-Mayber (1963) . وبصورة عامة تكون الترب غير جيدة
الصرف اقل من الترب المثالية المطلوبة للانبات .

الضوء

ان حاجة الضوء لعدد من بذور الانواع معروفة منذ مايقارب القرن (Mayer
and Poljakoff-Mayber 1963) لقد شخص Kinzel سنة ١٩٢٦ حساسية
بذور اعداد كبيرة من الانواع للضوء . وقسم عدة مئات من الانواع نسبة الى
انها ، (١) الانبات يفضل الضوء (٢) الانبات يفضل الظلام (٣) لايتأثر الانبات
بالضوء او الظلام . وتسمى البذور في المجموعة الاولى *photoblastic* . ان
الاهمية البيئية للضوء في الانبات مفهومة وذلك لان عدد من بذور الادغال تنبت على
سطح التربة بعد تعرضها للضوء فقط تنبت بذور الانواع الداخلية *Exotics* في
النظام البايولوجي للغابات فقط بعد قطع الاشجار واضطراب التربة بعمليات
الحصاد وتعريض هذه البذور للضوء .

لا يحتاج انبات بذور المحاصيل ذات تاريخ التدجين الطويل نسبياً الى الضوء
عادة (ماعدا بذور التبغ والخس) . وتنبت بذور الادغال بسهولة بوجود الضوء او
بعد تعرضها لظروف خاصة بعد النضج . ان هذه الحقائق تؤكد بان الضوء عامل
بعد النضج . ومفتاح لآلية كسر نوع معين من السكون . ان آلية السكون (السكون
الثانوي) في بذور الخس تكتسب بعد تعريضها الى درجات حرارة عالية بالهواء او
بالترربة (يكتسب بعد نضج البذور) . تنضج بذور الخس خلال ايام طويلة ذات
درجات حرارة عالية . والتي قد تحث السكون المكتسب . ويكسر هذا السكون
ويحصل الانبات والنمو في بداية الموسم البارد .

لقد اوضح مجموعة من علماء وزارة الزراعة الامريكية بشكل مقنع بان آلية
الاستجابة للضوء في انبات البذور مشابهة الى تنظيم العمليات التكوينية الاخرى مثل
التزهير وتكوين الصبغات واستطالة الساق واستقامة تمكف السويقة الجنينية السفلى
(Borthwick et al. 1952; Toole and Hendricks 1956)

ويعتبر الضوء الاحمر (R) هو الصيغة الفعالة في عملية العكس الضوئي
photoreversible مع الضوء الاحمر البعيد (FR; infrared) (جدول ٩ -
٥) . ولكمية الضوء (مستوى الطاقة) ونوعيته (اللون او طول الموجه) وفترة

التعرض للضوء (الفترة الضوئية) في الدورة تأثير كبير على الانبات . وذلك اعتماداً على النوع . وعادة يكون مستوى الطاقة الواطى في الضوء (١٠ / ١ - ١٠٠ / ١) من (ضوء الشمس الكامل) كافى لتحفيز الانبات . ان منبتات البنور التجارية مجهزة لتوفير اشعة بهذا المستوى . هنا وتنبت بذور الـ *bentgrass (Agrostis tenuis)* بشكل افضل في الضوء الكامل للشمس (١٠٣ سمرة / سم^٢ دقيقة) . والانبات كالترهيب حيث تستجيب انواع عديدة للفترة الضوئية وهنا يعتمد على النوع سواء كان يفضل الايام القصيرة ام الايام الطويلة او الايام المعتدلة .

جدول (٩ - ٥) انبات بذور العنيس بدرجة ٢٦ م .

نسبة الانبات	ترتيب التعرض للضوء
٧٠	R
٦	R-FR
٧٤	R-FR-R
٦	R-FR-R-FR
٧٦	R-FR-R-FR-R
٧	R-FR-R-FR-R-FR

المصدر من : Borthwick et al. 1954
(R) التعرض للضوء الاحمر لمدة دقيقة واحدة .
(FR) التعرض للضوء الاحمر البعيد لمدة اربعة دقائق .

يمكن توضيح تأثير نوعية الاضاءة على البذور الحساسة للضوء كما هو مبين في الملخص التالي لبعض الدراسات الاولية .

طول الموجة (نانوميتر)	اللون	الاستجابة
اقل من ٢٩٠	فوق البنفسجى (غير مرئى)	تثبيط
٢٩٠ - ٤٠٠	فوق البنفسجى (غير مرئى)	لا يوجد تأثير واضح
٤٢٠ - ٥٠٠	ازرق (مرئى)	تثبيط
٥٦٠ - ٧٠٠	برتقالى احمر (مرئى)	تحفيز
اكثر من ٧٠٠	احمر - بعيد (غير مرئى)	تثبيط

ان اكثر اطوال الموجات فعالية في تحفيز وتثبيط انبات البذور هي الحمراء (قمتها عند ٦٦٠ نانوميتر) والضوء تحت الاحمر infra-(far) red (٧٣٠ نانوميتر) على التوالي (Flint and McAlister 1937; Borthwick et al. 1954).

وجد Borthwick وآخرون لأول مرة في سنة ١٩٥٢ حصول مايسمى العكس الضوئي في انبات بذور الخس عند تعرض البذور الرطبة لبعض دقائق للأشعة الحمراء R والأشعة تحت الحمراء FR (جدول ٩ - ٥).

بعد هذه الدراسات الأولية وجد هؤلاء الباحثون بأن صبغة الفايثوكروم *phytochrome* هو الضوء المستلم والمنظم للاستجابة. ان هذا البروتين يتواجد في صورتين تتحول إحداهما إلى الأخرى P_r و P_{fr} (انظر الفصل ١٢). وتكون P_r زرقاء و P_{fr} زرقاء شاحبة والتي تصبح واضحة بعد تعرضها للضوء الأحمر. وفيما يلي الآلية المقترحة لتنظيم انبات البذور (Borthwick et al. 1954; Amen 1968).



ويعتقد بأن P_{fr} هي الصورة الفعالة حيوياً لتنظيم آلية الانبات والاستجابات للفايثوكروم الأخرى في النبات.

المواد الكيميائية الخارجية Exogenous Chemical

يشجع وجود عدد من المواد الكيميائية انبات بذور بعض الانواع (انظر جدول ٩ - ٧). ويمكن اعتبارها مواد محفزة للانبات وليست مثبته له. ويمكن لبعض المواد الكيميائية مثل الجبريلينات القيام بالتحفيز أو إحلالها بدل متطلبات الضوء ودرجات الحرارة المنخفضة بعد النضج. وفيما يلي بعض أهم المواد الكيميائية المستخدمة لتحفيز الانبات.

- ١- نترات البوتاسيوم (KNO_3) تستخدم بصورة واسعة في اختبارات الانبات لعدد من بذور الحشائش والبذور التي عادة تحتاج للضوء (Copeland 1967).
- ٢- الثيوريا Thiourea أو $CS(NH_2)_2$. لا تستخدم بشكل واسع إلا أنها تحفز الانبات في بذور بعض الانواع. وأنها لا تمعوض عن احتياجات البذور للضوء أو درجات الحرارة (Tukey and Carelson 1945).

٣ - بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وهو مركب فعال على بذور بعض البقوليات والطماطة والشعير (Copeland 1967).

٤ - الاثيلين (C_2H_4) يحفز الانبات في بعض الانواع (مثل فستق الحقل) ويؤدي الى زيادة تثبيت محور البادرة النابتة. ويختلف سكون بذور فستق الحقل (والحاجة لازالته بالاثيلين) كثيراً بين الاصناف.

٥ - الجبريلينات (GA s) بإمكانها ان تعوض جزئياً على الأقل عن متطلبات الضوء ودرجات الحرارة البادرة في البذور التي تحتاج للضوء لاجل انباتها. ويعد GA_3 اكثر الجبريلينات استخداماً. ولكن قد وجد بأن GA_4 و GA_7 اكثر فعالية من GA_3 (Borris 1967).

جدول (٩ - ٦). طول مدة حيوية البذور.

التجربة	عدد سنوات دفن البذور	عدد الانواع التي انبتت بنورها
Duvel	١	٧١
	١٠	٦٨
Beal	٢٠	٥٧
	٢٨	٣٦
	٢٠	١١
	٤٠	٩
	٧٠	٢
	٩٠	١

المصدر: Klingman and Ashton 1975

أ - دفن Duvel ٧٧ يوماً في تربة طنية على عمق ٢.٨ و ٤.٢ إنچ.

ب - أمثلة على ذلك: X_{91} jimson weed, X_{18} moth mullein, X_{18} velvetleaf, X_{78} evening primrose, X_{16} lambequarters, ذيل الثعلب الأخضر X_{16} curley dock.

ج - دفن Beal ٢٠ دج

د - black mustard, curley dock, common ragweed, prostrate pigweed, Redroot pigweed, moth mullein, purslane, broadleaf plantain, evening primrose.

هـ - curley dock, evening primrose, Moth mullein.

و - Moth mullein - ٧ - X_{80} .

النضج MATURITY

لا يمكن ان يحدث الانبات الا بعد وصول البذرة الى مستوى ادنى من التكوين الظاهري بالرغم من توفر الظروف البيئية الملائمة للانبات . وعموماً يحدث تطور كافى للحيوية والانبات بفترة طويلة قبل النضج . وتنبت بذور *Smooth brome grass* بحوالي ستة ايام بعد الاخصاب (Grabe 1956) . وقد وجد ان العديد من بذور الادغال حية ولها المقدرة على الانبات في غضون ٨ - ١٠ ايام بعد التزهير . ويزداد عادة سكون البذور بزيادة نضجها .

عمر البذور Longevity

تعتمد مدة بقاء البذور حية او طول عمر البذور على التركيب الوراثي واليه السكون وبيئة الخزن وقد انبتت بذور الـ *Lupine* (*Lupinus articus*) المستخرجة من خث مستنقع (Peat bog) في كندا بعد ١٠,٠٠٠ سنة (Porsild and Harrington 1967) . وقد انبتت بذور الـ *Indian lotus* المستخرجة من تربات بحرية في منشوريا بعد ١,٠٠٠ سنة (Copeland 1967) . وكان لبذور نبات (الميوسا) (*Mimosa glomerata*) *minosa* الموجودة في معشب المتحف الوطني في باريس القدرة على الانبات بعد ٢٢١ سنة (Beequerel, 1934) . وقد وجد بأن بذور بعض البقوليات تنبت بعد ١٠٠ - ١٥٠ سنة من الخزن الجاف (Ohga 1962) . لقد لخص Ashton وKlingman سنة ١٩٧٥ دراسات حول طول مدة حيوية البذور قام بها Duvel و Beal والتي شملت على دفن اوعية حاوية على البذور في وسط رطب واخراجها على فترات مختلفة .

ففي تجربة Beal انبتت ثلاثة انواع بعد ٧٠ سنة والـ *moth mullein* بعد ٩٠ سنة . وبقيت بذور اغلب المحاصيل محافظة على حيوتها لسنوات عديدة . واعطت ٧٠ - ٩٠ ٪ نسبة انبات بعد ٧ - ١٠ سنوات عند خزنها في ظروف ملائمة (Mayer and Poljakoff-Mayber 1963) .

اكادت دراسات طول عمر البذور على اهمية الظروف الملائمة للمخزن وهي درجات حرارة منخفضة ورطوبة بنسبة منخفضة وواكسجين قليل (Ching et al. 1959) . ولقد انبتت بذور بعض محاصيل العلف المخزون بدرجات حرارة عالية (٢٨ م) انباتاً جيداً بعد ستة سنوات عند المحافظة على محتوى رطوبي

للبنور ٦٪ أو أقل . وفقدت البنور حيوتها بعد ثلاثة اشهر عندما خربت بدرجة حرارة ٢٢ م عند ارتفاع المحتوى الرطوبي إلى ١٦٪ . وكقاعدة عامة يجب ان لايزيد مجموع قيم الرطوبة النسبية للهواء (٪) ودرجة الحرارة (° ف) لبيئة التخزين عن ١٠٠ . على سبيل المثال ان خفض درجة الحرارة و / او الرطوبة النسبية تكون ظروف بيئية متفوقة او افضل من الاولى .

Seedling Vigor قوة البادرات

تنخفض قوة البادرات (سرعة النمو) بسرعة بزيادة طول فترة تخزين البنور. وقد تؤثر فترات التخزين القصيرة في الظروف القاسية على قوة البادرات اكثر من تأثيرها على الحيوية (Copeland 1967) (جدول ٩ - ١١) . ويمكن الملاحظة بان قوة البادرات يمكن ان تفقد بسرعة اكثر من الحيوية . اي ان نصف عمر قوة البادرات للبنور المخزونة في هذه الحالة حوالي سنتان . مقارنة مع حوالي اربعة سنوات لنصف عمر الحيوية . ان احد التفسيرات هو ان فقد القوة يكون بسبب تحطم التراكيب الواقية ضد الاحياء المجهرية التي تستطيع اضعاف او تلف البذرة او البادرة . وقد تسبب فترة التخزين او الظروف القاسية اثناء التخزين للاغشية فقد قدرتها الانتاجية لمركبات اىضية خلال الانبات بسبب (Abdul-Baki and Anderson 1970) الاصابة بالاحياء المجهرية . ومن المحتمل بان فقد القوة اكثر تعقيداً من التلف الفيزيائي فقط . على سبيل المثال . وجد بان ميتاكوندريا بادرات فول الصويا من بنور جديدة تختلف معنوياً في التنفس عن تلك من البنور القديمة (Abū-Shakra and Ching 1967) . ان معدل الفسفرة الضوئية في النباتات النامية من بنور قديمة ٤٠ - ٧٠٪ من تلك النباتات النامية من بنور جديدة بوحدة الاوكسجين المستهلك . وتحوي البادرات النامية من بنور قديمة على عدد أقل من الميتاكوندريا بوحدة الوزن من تلك البادرات النامية من بنور جديدة .

ومهما كانت الآليات المؤثرة . فلا تفقد القوة ولا الحيوية في مجتمع البنور مباشرة . بل ان كلاهما ينخفض على شكل منحنى اسي exponentially مع الزمن بمعدل مشابه الى منحنى سيكمويد (Borriis 1949) . ولا يمكن قياس القوة بدقة باختيار الانبات القياسي . لهذا السبب طور اختبار البرودة cold test الذي يستخدم على نطاق واسع في اعداد بنور الذرة الصفراء وهو مشجع للاستخدام في بعض المحاصيل الاخرى . ويشمل اختبار البرودة

هنا وضع البذور المشرّبة بتربة عضوية غير معقمة وبإدارة (٥ - ١٠ م) ورطوبة لفترة حوالي سبعة أيام ثم نقلها الى نظام ري ودرجة حرارة دافئة (٢٢ م) لإكمال الانبات. إن هذه الظروف تعرض البذور والبادرات الى الإصابة بالأمراض أو التعفن بالـ *Pythium* والأحياء الأخرى التي تسبب ذبول البادرات *damping off* ويختلف الانبات في هذا الاختبار كثيراً عن اختبار الانبات القياسي وربما يعكس السلوك الحفلي في الربيع بشكل أفضل. ويشمل الأسراع بالتعمير على تعريض البذور الى درجات حرارة عالية لفترة معينة، وهو اختبار آخر للحياة. وهناك اختبارات أخرى تحت الدراسة والتقييم.

لقد لاحظ Tilden سنة ١٩٨٤ بأن العملية المسماة *priming* (تنظيم امتصاص الماء ببطء) تؤدي الى تصلب (انسداد أغشية البلازما مقللاً فقد الالكترونات) (المنحل بالكهرباء) *electrolyte* وتحسين الانبات وقوة البادرات.

السكون (رقاد) Dormancy

السكون هو حالة توقف النمو أو حالة راحة. وهي ظروف قد تبقى لفترة زمنية بالرغم من توفر الظروف الملائمة للانبات. وتطبيقياً تكون البذرة ساكنة عند نقطة الانفصال الفيزيائي أو الفسيولوجي من النبات الأم. ويتوقف هذا السكون مباشرة عند توفر ظروف ملائمة للانبات. إن تعبير سكون أو همود *Quiescence* أكثر وصفاً لراحة البذور الناتجة من الظروف غير الملائمة للانبات (على النبات الناضج أو في المخزن). أما تعبير رقاد أو سبات (*dormancy*) فهو أكثر ملائمة للبذور التي يفشل انباتها عندما توضع في بيئة ملائمة لانبات البذور غير الساكنة من نفس مجتمع البذور (Amen 1963, 1968).

أدى الانتخاب الطبيعي خلال الألف السنين من التدجين الى إزالة السكون من نباتات المحاصيل بصورة كاملة. وتنبت بنور أغلب المحاصيل بسهولة بعد نضجها وجفافها. وأحياناً تنبت البذور الساكنة وهي لازالت على التوراة الزهرية للنباتات المتواجدة في الحقل وخاصة في الأجواء الممطرة (شكل ٩ - ١٢). ومن جهة أخرى. نجد بأن بنور بعض الأنواع البرية (مثل بنور الادغال والأشجار ومنها الأشجار المثمرة) تظهر عادة سكون عميق. وتظهر بنور نباتات المحاصيل ذات تاريخ تدجين قصير سكون لدرجة معينة لنا فهي تتطلب ظروف ووقت أكثر

للانبات (مثل العديد من بذور البقوليات العلفية الصلبة . وانواع عديدة من الحشائش ذات السكون الفسيولوجي ومنها الذرة البيضاء و *Poa* و *Festuca* . ان حقيقة وجود السكون في الانواع البرية يبين الاهمية البيئية لبقاء الانواع . لقد انتج الانتجاب الطبيعي خلال التطور نباتات ذات بذور سائلة و / او براعم سائلة وهو تكييف لفترات تكون فيها الظروف البيئية قاسية مثل تلك الموجودة في مناطق ذات المناخ المعتدل . وعندما لا يتزامن الانبات او نمو البراعم مع تحفيز الظروف المناخية الملائمة للنمو والانتاج فان النوع قد لا يبقى

ويعد السكون عامل رئيسي في نجاح الادغال والمحافظة على بقائها وازداد البيئية الملائمة بالرغم من جميع الظروف العديدة المضادة لها . وتبقى بذور العديد من انواع الادغال حية وتنبت اخيراً بالرغم من الظروف القياسية من حرارة وماء وحريق وزراعة وتغذية الحيوانات والطيور



شكل (٩ - ١٢) انبات بذور الرز على المتقود panicle مشيراً ما بعد النضج خلال نضج البذور .

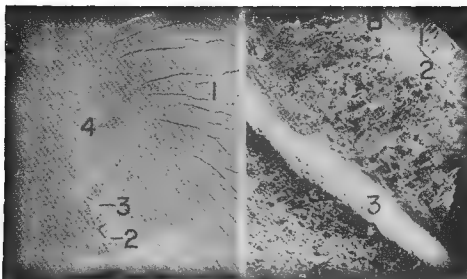
انواع السكون

- لقد قسم Amen في سنة ١٩٦٨ اليات السكون لبعض الانواع كما يلي :
- ١ - جنين غير ناضج ، في بذور عائلة Orchideaceae .
 - ٢ - عدم نفاذية اغلفة البذور ، في العائلة البقولية (عدم النفاذية للماء) وفي العائلة النجيلية (عدم النفاذية للاوكسجين) .
 - ٣ - المقاومة الآلية (الميكانيكية) لاغلفة البذور ، يوجد في بعض انواع العائلة النجيلية والانواع التي بذورها على شكل جوز nuts .
 - ٤ - السكون الفسيولوجي ، يوجد في بذور انواع عديدة تحوي على مشبطات نمو او ان محفزات النمو في الكيس الجنيني واغلفة البذور تكون غير كافية لابتداء العمليات الحيوية للانبات (Simpson 1978) .

ان العملية التي يصبح بها البذور قادرة على الانبات تسمى بعد النضج after-ripening ويتم النضج على النبات الام او الجفاف في الخزن او التمييز ageing في الخزن الجاف . ومن جهة اخرى قد يتطلب في بعض الانواع المعاملة بدرجات حرارة منخفضة لفترة طويلة بعد النضج او الظروف اكثر تعقيداً مثل درجات الحرارة المتناوبة ودورات من الاشعة ووجود الاملاح والفصل وازالة قشرة البذور . ان هذه المعاملات تكون فعالة فقط على البذور المتشربة للماء .

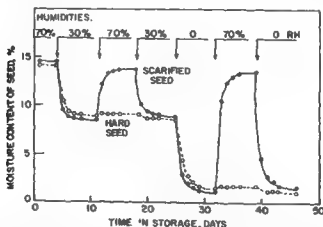
از. السكون غير الناضج شائع في بذور النباتات المتطفلة مثل بذور نبات witchweed (*Striga lutea*) التي تتطلب عائل لتوفير المحفز . وقد وجد بان السايكوكاينين من النبات العائل هو المحفز الضروري للانبات . وفي بعض الانواع يمكن ان يحدث أثناء الخزن او اثناء الانبات .

ان صلابة غلاف البذرة تعتبر الآلية الرئيسية للسكون في بذور البقوليات (شكل ٩ - ١٣ - ١٤) . وتنتج عدم نفاذية الماء في بذور البقوليات من عاملين هما ، (١) غلاف البذرة يكون ذو طبقات من الخلايا الكثيرة المترصة scleroid Malpighian عند الزاويا الصحيحة لسطح غلاف البذرة مع المركبات الفينولية او مركبات اخرى نافرة للماء كما هو شائع في اغلفة البقوليات (Evenari 1949; Amen 1963) . (٢) إغلاق الفتحات الطبيعية في غلاف البذرة . والتي تشمل على فتحة النقيير micropyle وفتحة الحبل السري funicle وال pleurogram (انخفاض تحت النقيير والحبل السري) . وقد استنتج Olvera وآخرون سنة ١٩٨٢ بان العامل الرئيس المسؤول عن صلابة البذور في الـ *Leucaena* (البقوليات) هو



شكل (٩-١٣) يبين صورة مكبرة بالمجهر لينز الـ *Leucaena* الصلبة. تراكيب البذرة ١- غلاف البذرة
٢- النخير، ٣- العجل السري ٤- الـ pleurogram - مقطع عرضي (١) غلاف البذرة ٢- طبقة الـ
Malpighian ٣- خط الضوء ٤- السويداء (الاندوسبرم).

اغلاق الـ pleurogram . حيث تنغلق هذه التراكيب عندما يكون مستوى
الرطوبة خارج البذرة اقل من داخلها مسبباً خروج الماء دون السماح له بالدخول
(شكل ٩-١٤).



شكل (٩-١٤) عند وضع بنور البرسيم الأبيض الصلبة بصورة متبادلة في رطوبة عالية ومنخفضة فقدت
البذور الماء في الرطوبة المنخفضة إلا أنها لم تستعيدوا عند وضعها في رطوبة عالية وذلك بسبب عمل صام
السره . هنا وتستطيع البذور المخدشة استعادة الرطوبة بسهولة (Leopold and Kriedemann 1975)

بين جدول (٩ - ٧) عدد كبير من المعاملات الفعالة التي تجرى على البذور بعد النضج لكسر طور السكون المتسبب من صلابة الغلاف *hard seed* . وتمتد الحوامض والقواعد المركزة فعالة جداً الا انها قد تحدث اضراراً للبذور كما ان استخدام درجة حرارة ١٠٠ م لمدة ١.٥ دقيقة وذلك بتعريض البذور لاشعة الضوء الاحمر البعيد من شمعة معينة او الماء الحار وهي طرق فعالة ايضاً لتقليل صلابة اغلفة البذور . وقد ادى استخدام الماء الحار (١٠٠ م) لفترة ٥ - ٢٠ ثانية الى فتح الـ *pleurogram* في بذور البقوليات والى نسبة انبات ٩٠ - ١٠٠ % اعتماداً على الصنف (Olvera et al. 1982). يستخدم التخديش *Scarification* (التخديش الالى ، والتخديش بالحوامض او بالماء الحار - معاملات تجرى على غلاف البذرة) لازالة سدادة فتحة السرة *hilum* لزيادة نفاذية الماء وتشربه . ويعتقد بان وجود البذور الصلبة نسبة متوسطة ذي فائدة لبذور المحاصيل العلفية (Dexter 1955) لذا فلا ينصح دائماً باستخدام عملية تخديش البذور . ويتم ازالة السكون طبيعياً بالانجماد والذوبان والترطيب والتجفيف ومرور البذور في الاجهزة الهضمية للحيوانات وفعالة الاحياء المجهرية و / او التعمير في المخزن .

تعد اغلفة بذور عدد من انواع الحشائش والاشجار مثل حشيش الابرة *needlegrass* (Weisner and Kinch 1964) وحشيش الرز الهندي غير منفذة للاوكسجين . حيث تعمل العنيفة *lemma* والاتب *palea* (اغلفة البذرة) كحاجز في بذور حشيش الابرة الخضراء (*green needlegrass*) . وقد تم الحصول على نسبة انبات (٧٢ %) بعد سبع سنوات من الحصاد .

وقد ادت معاملة تعريض البذور الى درجات حرارة باردة ومحللول KNO_3 الى اعطاء نسبة انبات كاملة . وتعتبر بذور الحسك *Cocklebur* والشوفان البرى امثلة تقليدية لسكون البذور الناتج من اغلفة البذور غير النافذة للاوكسجين (Crocker 1906; Hay 1967) .

ان بذرة الحسك ثمرة جافة صغيرة غير منفصلة تحوى على بذرتين . وقد تنبت البذرة السفلى مباشرة بينما تبقى البذرة العليا ساكنة لبعض سنوات بسبب قلة تركيز الاوكسجين المحيط بها (Crocker 1906) . كما يؤدي غلاف بذرة الشوفان الى وجود تركيز واطيء للاوكسجين ايضاً . وان ازالة اغلفة بذرو كلا النوعين يحسن نسبة الانبات .

جدول (٩ - ٧) سكون البذور ومعاملات بعد الحصاد لتفجيع الانبات

النوع	معاملة بعد الحصاد لتفجيع الانبات	الملاحظات
الجث (<i>Medicago sativa</i>)	تخدش. حلك. او كشط. حرارة. حامض. كهرباء. تثقيب الغلاف. عوامل بيولوجية	بنور بقوليات صلبة لا تسمح بدخول الماء. وقد تكون المعاملات مفيدة زراعيًا ، وتتطرى اغلفة البذور الصلبة في التربة بصورة طبيعية الطريقة الوحيدة الفعالة. تحوي الاغلفة على مثبط (ABA) سكون الجنين . يتطلب ٧٥٠ وحدة تبريد بدرجة حرارة (٩-١٠م) او ازالة الفلقتان
حشيش الرز الهندي (<i>Oryzopsis hymenoides</i>)	المعاملة بالحامض التنضيد	
الخوخ (<i>Perricum malum</i>)		
الحسك (<i>Xanthium pennsylvanum</i>)	تركيز عالي من الاوكسجين المعاملة بالكاينيتين	سكون البذرة العلوية يكون لانبات ٢١٠٠ عند تركيز ٢١٠٠ لوكسجين وحرارة (٢٠ - ٢٣م) . الضوء الاحمر والكاينيتين. المواد المشبطة لا يحل الكاينيتين بدل الضوء يمكن ان يحل الضوء بدل الحرارة في معظم الانواع يؤدي حامض الجبريليك الى انتاج الماثيز المعاملة بتركيز عالي من الاوكسجين والـ H_2O_2 وتقب اغلفة البذور كلها فعالة في ازالة السكون
الشوفان البري (<i>Avena fatua</i>)	تركيز عالي من الاكسجين الضوء الاحمر	
	حامض الجبريليك ازالة غلاف الحية (ازالة المصافة والابنة المعاملة بـ KNO_3)	

النس (Lactuca sativa)
 الغزن الجاف حامض الجبريليك .
 الضوء الاحمر . الاثيلين
 يتم ازالة السكون بالغزن
 الجاف للبنور المحصورة حديثا
 للصف Grand Rapids
 تحل بدل متطلبات الضوء
 ودرجة الحرارة (الباردة)

حشيش كنتاكي
 الازرق
 درجات حرارة متبادلة
 وضوء

(Poa pratensis)

حشيش بيرمودا
 تركيز منخفض في الاوكسين
 (Cynodon dactylon)

حشيش بنتا
 (Agrostis palustris)
 درجات حرارة متبادلة وضوء
 طول فترة التعرض لدرجات
 الحرارة العالية مهمة لاجلب
 الاصناف الضوء الاحمر فعال
 خلال التعرض لدرجات الحرارة
 العالية

فيسكو الطويل
 (Festuca arundinacea)
 درجات حرارة منخفضة
 للانبات

يؤدي حفظ البنور بدرجة
 حرارة ٢٥ م لمدة سبعة ايام
 الى السكون. يؤدي الضوء الى تحفيز
 الانبات بدرجة الحرارة المنخفضة .
 الترشيع بماء المطر الشتوي
 يستخدم بشكل واسع في الدراسات
 المختبرية بتركيز ١-١٠٪ معلول
 فعال وتتاثر بالمعاملة اغلب
 البنور الحساسة للضوء .
 وجود مشبط ABA في
 الجنين وخلاف العبة .

حشائش الصحراء
 حشيش بروتون
 النيوزيلاندي
 (Agrostis tenuis)
 الترشيع
 املاح النتروجين
 (KNO₃)

الرز البري
 (Zizania palustris)
 الغزن بالماء البارد
 لمدة اكثر من ١٠٠ يوم

تستطيع اغلفة البذور ذات المقاومة الآلية (الميكانيكية) تشرب الماء بعكس البذور الصلبة . الا انها تقاوم انتفاخ الجنين ونمو البادرة . وتملك بذور بعض الحشائش واغلب الانواع التي تكون ثمارها ذات بذور صلبة اغلفة بذور مقاومة الية ميكانيكية (لظهور الجنين . ويؤدي ترطيب البذور لفترة طويلة الى اصعاب الغلاف الصلب . ويتطلب الجوز الاسود (*Juglans nigra*) عدة اسابيع من الخزن في ظروف باردة (٢ - ٥ °م) ورطوبية (تنضيد) لاجل كسر طور السكون (Meyers et al. 1979) . ويبدو ان في هذا النوع على الاقل نوعين من السكون الاول مقاومة الية الغلاف البذرة ، والثاني جنين غير ناضج (غير ناضج فيسيولوجيا) . ومن المعروف بان غلاف الجوز الاسود يحوي على مثبط نمو قوي هو الجوكولون juglone . ومن المحتمل ان يفقد هذا المركب بالفصل اثناء الترطيب . ويظهر بان هذا النوع يحوي على الية سكون ثالثة . ان بيئة الانواع المنتجة لثمار الجوز ذات العلاقة وطيدة مع الحيوانات الصغيرة التي تقوم بدفن الثمار خلال الخريف مبيته توزيع البذور وطراوة اغلفتها وتنضيدها خلال فترة الشتاء .

السكون الفسيولوجي PHYSIOLOGICAL DORMANCY

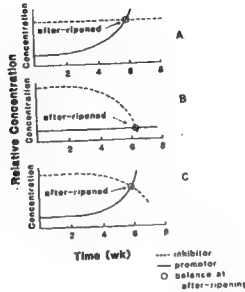
يشار احيانا الى السكون الفسيولوجي بسكون الجنين (Amen 1968) . وقد سمي ايضاً بالسكون العميق deep dormancy (Borriss 1949) . وفي السكون الفسيولوجي يكون الجنين غير ناضج فيسيولوجياً . والعوامل المسببة لعدم نضج الجنين هي وجود مثبطات نمو وقلة في المواد او المركبات المشجعة للنمو او عدم وجود توازن مناسب بين هذين الهرمونين . وقد وجد بان حامض الابسيسيك (ABA) والكومارين coumarin ومثبطات اخرى (جدول ٩ - ٨) تشجع السكون . وقد تتواجد هذه العوامل في اغلفة البذرة او طبقة الأليرون او الجنين . وتؤدي المواد المشجعة للنمو (الجبريلينات والسايكوتوكاينينات) على زالة السكون من مجموعة واسعة من الانواع (جدول ٩ - ٧) .

ويوضح شكل (٩ - ١٥) نموذج نظري للتوازن بين مشجعات ومثبطات النمو على الانبات . ونسبة الى هذا النموذج يوصل الانبات عندما يصل التوازن الهرموني حداً حرجاً ويتم ذلك اما برفع مستوى المواد المشجعة للنمو او بخفض مستوى

جدول (٩ - ٨) مشبطات الانبات المتواجد طبيعياً في انواع نباتية مختلفة .

مشبط	النوع	الجزء النباتي الحاوي على المشبط	ملاحظات
الانبات	المنتج للمشبط		
Amygdalin		البذور / عصير الثمار	يحوي على HCN
الامونيا	البنجر السكري	الاغلفة المحيطة بالبذور	يشبط انبات بذور السكر والبذور الاخرى
الاثيلين	الثمار الكلايمكتيرية	عصير الثمار	مشبطات غازية
زيت الفردل		البذور	مشبطات غازية
الاحماض العضوية	التفاح / ثمار الحمضيات	عصير الثمار	تأثير مباشر بدلاً من PH
اللاكتونات غير المشبعة	الخس	الاغلفة	الكومورين
الالديهايد	بذور الفرة الصفراء غير التاضجة/ البازلاء/ اللوز المر	البذور	انتاج ظروف لاهوائية
الزيوت الاساسية	ثمار الحمضيات	قشرة الثمار	يمنع انبات بذور الحنطة يحوي
القلويات	التبغ / القهوة / الكاكاو	البذور / اجزاء النبات الاخرى	على النيكوتين والكافين وقلويات الكوكائين على التوالي
الفينولات	الكشون . السليم	البذور	مشبط الـ Tynol الاكثر فعالية

المصدر ، Evenari 1949



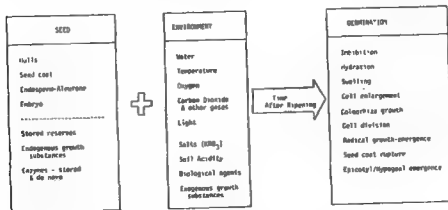
شكل (٩ - ١٠) نموذج لما بعد النضج في البذور نتيجة حصول توازن مناسب بين «هورمونات المشبعة للنمو والمشبطة له». A زيادة الهرمونات المشبعة للنمو مع بقاء الهرمونات المشبطة للنمو ثابتة. B تنقص الهرمونات المشبطة للنمو (٢) زيادة الهرمونات المشبعة والمشبطة للنمو في وقت واحد.

مشبطات النمو . وقد أوضح Amen سنة ١٩٦٣ انه بالإمكان كسر أغلب آليات السكون بالمواد المشبعة للنمو . ان حقيقة احلال معاملة البذور بالحبريلينات بدلاً من الاحتياجات الضوئية للكثير من الانواع التي تتطلب الضوء لاجل الانبات مثل بنور الغس والتبغ . ومتطلبات البرودة في الانواع التي تحتاج بذورها الى تنضيد (الشوفان البري وعدد من انواع الاشجار) تساند هذا الاستنتاج . وعادة ينخفض مستوى المواد المشبعة للنمو خلال تطور البذور بينما تزداد مشبطات النمو مثل حامض الابسيسيك ABA مؤدياً الى سكون البذور عند نضجها بسبب عدم التوازن الهرموني (شكل ٩ - ١٠) . وعادة تؤدي ظروف مختلفة خلال مرحلة قبل الحصاد الى عكس ما يحصل في الحالة السابقة الذكر موضعاً عدم حاجة الكثير من الانواع الى الضوء والتنضيد خلال الخزن الجاف .

بعد الكومارين مشط كيميائي طبيعي في السكون الفسيولوجي كما وجد ايضاً بان حامض الابسيسيك ABA او dormin واللاكتونات غير المشبعة والقولويات والفينولات والاثيلين والامونيا والزيوت الاساسية وحامض الهيدروسيانيك والاحماض العضوية تسبب السكون. (Evenari 1949; Hay 1967) (جدول

٩ - ٨) . وتوجد مشبطات النمو المسيطرة على السكون في الجنين كما في عدد من بذور الحشائش او في اغلفة البذرة كما في بذور الخس والبuckwheat . او في الثمرة كما في التفاح والبطاطا . وقد وجدت درجات مختلفة من السكون في عشرة اصناف من الحنطة كان سببها مشبطات نمو قابلة للتحويل بالماء او الميثانول . وقد اختلفت بعد شهر او اكثر من التخزين الجاف الدافئ (Ching and Foote 1961) ادى غسل او ازالة اغلفة البذرة الى زيادة انبات بعض انواع الحشائش . يرتبط السكون في بذور الذرة البيضاء مع الغلاف الثمري البني اللون الملتهم مع غلاف البذرة (Clark et al. 1968) . وقد ازيل مسبب السكون بمعاملات تخديش البذور او معاملتها بالماء الحار . وتحتوي السويداء (الاندوسبرم) وطبقة الااليرون على عوامل السكون في بعض الانواع (Amen 1968) . ويحتوي الجنين والغلاف الثمري لبذور الرز البري على مستويات مشبعة من حامض الابسيسيك . وقد امكن ازالتهابخزن البذور لأكثر من ١٠٠ يوم بماء بارد (٣ م) (Albrecht et al. 1979)

ويبدو من المناقشة السابقة بان سكون البذور معقد جداً حيث تشرك به تراكيب عديدة في البذور . ومحفزات نمو بيئية . ومواد نمو داخلية ومركبات كيميائية خارجية . واحتمال التداخل بين جميع هذه العوامل . ويوضح المخطط النموذجي في شكل (٩ - ١٦) هذا المفهوم . فعند عمل اربعة عوامل فقط - على سبيل المثال غلاف البذرة ودرجة الحرارة ومركب داخلي A ومركب خارجي B-12 ذو تأثير رئيسي . فقد يتسبب السكون من ٧٢ تداخل اولي او احتمال حصول ٨٤ عامل مسبب للسكون . وقد اوضح (Amen 1968) اسباب سكون بذور الخس المحصورة حديثاً ،



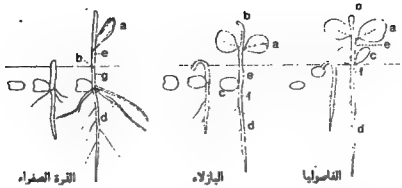
شكل (٩ - ١٦) تراكيب البذرة والعوامل البيئية التي تؤدي الى ما بعد النضج . تتداخل عوامل البذرة والبيئة لتكوين آليات تؤدي الى سكون او انبات البذور .

- ١ - بسبب وجود السكون الثانوي (يحتاج الى فترة بعد الحصاد) يحصل الانبات في مدى ضيق درجات الحرارة المنخفضة (١٥ - ٢٠ م°) .
 - ٢ - كان الانبات سريعاً عند مدى واسع من درجات الحرارة بعد فترة كافية من الغزن الجاف الذي ادى الى فقد السكون .
 - ٣ - اصبحت البذور المتشربة للماء ساكنة (سكون ثانوي) عند تعرضها لدرجات حرارة عالية (٣٠ - ٣٥ م°) .
 - ٤ - لم يكسر الثانوي المحث induced والسماح للانبات بدون العودة الى مدى ضيق من درجات حرارة منخفضة .
 - ٥ - نبتت البذور ذات السكون الثانوي او حتى السكون الحقيقي بسرعة عند تعرضها الى الاشعة الحمراء (Borthwick et al. 1954) او الى الجبريلينات (حامض الجبريليك الثلاثي) (Borriss 1967)
 - ٦ - حصل انبات عند ازالة اغلفة البذرة .
- لقد أدى معاملة بذور الخس المتشربة بالماء بالكومارين الى تشجيع السكون في البذور المنبتة (Sprouting seeds) وبحالة مشابهة الى درجات الحرارة العالية السببية للسكون الثانوي (Nutue 1945) .
- ان السكون الاول (المنشعب اساساً) اثناء تكوين وتطور البذرة (والسكون الثانوي او النسبي) الذي يتسبب بيئياً في البذور الناضجة الا ان للبذور قابلية للانبات في مدى ضيق من درجات الحرارة ١٥ - ٢٠ م°) او السكون الحقيقي كما عرفه Borriss سنة ١٩٤٩ (لا يحصل انبات حتى عند توفر درجات الحرارة المثالية) . جميع انواع السكون هذه تنظمها عوامل داخلية في البذرة كما انها قد تتسبب بعوامل بيئية .

البزوغ ونمو البادرات Emergence and Seedling Growth

تظهر البادرات فوق سطح التربة بطريقتين (١) البزوغ الهوائي *epigeal* (استطالة السويقة الجنينية السفلى (hypocotyl) وهو الجزى العلوي للجذير (٢) البزوغ الارضي *hypogaeal* (استطالة السويقة الجنينية العليا *epicotyl* . السلامة او السلامة الاولى (شكل ٩ - ١٧) . تقع التراكيب التي تستطيل في البزوغ الهوائي والارضي مباشرة تحت وفوق عقدة الفلق *cotyledonary node* . على التوالي .

وتظهر الفلقتان في البزوغ الهوائي فوق سطح التربة او الوسط / اما في البزوغ الارضي فان الفلقتان تبقى تحت السطح . ويكون انبات بذور فسق الحقل وسط



شكل (٩ - ١٧) البرزوغ الأرضي في الفترة الصفراء والبالاء والبرزوغ الهوائي في الفاصولياء . تراكيب البادرات .
 (a) الورقة الأولى الحقيقية (b) البرعم القمي (c) الفلق (غير ظاهرة في بذور الفترة الصفراء) (d) الجذير (e) السويقة الجنينية السفلى (f) السويقة الجنينية العليا . (g) السويقة الجنينية الوسطى .

بين النوعين وذلك لان الفلقتان تظهران فوق سطح التربة اذا كانت الزراعة غير عميقة وتبقى تحت السطح في حالة الزراعة العميقة نسبياً .

تبقى الفلقتان تحت السطح في بذور الحشائش (انبات ارضي) وتمتص الغذاء الاحتياطي المتحلل من السويداء . ويكون يزوغ بذور البازاليا pigeon pea و garden pea ارضي . وهو لايشبه اغلب البقوليات الا ان عناصر الغذاء تؤخذ (تحسب) من الفلقتان كالعادة . وعلاوة على ان الفلقتان فوق سطح التربة توفر الغذاء المخزون فيها فهي ايضاً تحوي على البلاستيدات بصورة كثيفة . وهو عضو التمثيل وعادة تصل الفلقتان الشيخوخة بفترة قصيرة بعد البرزوغ وتسقط بعد حوالي ثلاثة اسابيع .

حجم البذور والكثافة النباتية SEED SIZE AND DENSITY

يوجد ارتباط عالي بين حجم البذور ووزن البادرات فقد انتجت اقل البذور ضمن مجتمع بذور ان smooth brome grass اقوى البادرات (Kalton et al. 1959) وعند زراعة البذور الكبيرة والصغيرة الماخوذة من نفس الحقل (Clark and Peck 1968) من الـ snap bean بعدد متساوي من البذور بالتر الواحد لخط الزراعة . فقد انتجت نباتات معاملة البذور الكبيرة حاصلأ أعلى من نباتات معاملة البذور الصغيرة .

اما عند زراعة اوزان متساوية من البنور الصغيرة والكبيرة فقد اعطت البنور الصغيرة حاصلاً اعلى من حاصل نباتات البنور الكبيرة . لقد ادى تكوين عدد من الشقوق العريضة في اغلفة البنور الكبيرة الى خفض نسبة الانبات وبالتالي عدد النباتات بوحدة المساحة . ففي هذه الحالات اعطت البنور الكبيرة اقل حاصلاً من اقسام حجم البنور المستخدمة بالدراسة .

اظهرت بذور فول الصويا الماخوذة من مصادر مختلفة بان هناك علاقة موجبة بين حجم البنور والحاصل (Fehr and Probst 1971) . وفي دراسة اخرى حول فول الصويا وجد Smith و Casper سنة ١٩٧٥ بان البنور الكبيرة قد اعطت حاصلاً اعلى من عدد مساوي من البنور الصغيرة بينما لم تتغير الصفات الحقلية الاخرى بتغيير حجم البنور . وفي دراسة ثالثة حول فول الصويا وجد بان حاصل البنور الكبيرة كان اعلى معنوياً من حاصل البنور الصغيرة وكان هناك ارتباط موجب بين حجم البنور والبزوغ والمساحة السورقية وارتفاع النبات (Burris et al 1973) . وكان معدل التمثيل الضوئي بوحدة مساحة الورقة من بادرات البنور الكبيرة التي عمرها سبعة ايام اعلى مما في البادرات النامية من بنور صغيرة . هذا وقد وجد Black في سنة ١٩٥٦ تأثير موجب لحجم البنور على حجم الفلقتين . ولاحظ بان زيادة عمق الحرث قد خفض وزن بادرات البرسيم الارضي subterranean ، الا انها لم تقلل مساحة الفلق (جدول ٩ - ٩) . وقد انتجت البنور الكبيرة ضعف مساحة الفلق مما في البنور الصغيرة وقدرة تمثيلية اعلى .

جدول (٩ - ٩) تأثير عمق الزراعة وحجم البنور على وزن البادرات ومساحة الفلق للنقل الارضي subterranean clover

حجم البنور وعمق الزراعة	الوزن (ملغم)	المساحة (ملم ^٢)
بنور كبيرة		
٢ / ١ أنج	٣,٣	١٦,٤
١ / ٤ - ١ أنج	٢,٨	١٦,٣
٢ أنج	٢,٥	١٦,٣
بنور زرعت على عمق ٢ / ١ أنج		
صغيرة	١/٣	٧,٨
متوسطة	٢,١	١١,٨
كبيرة	٣,٣	١٦,٨

المصدر Black 1956

أحياناً توضع بذور محاصيل العلف الصغيرة على عمق كبير بحيث يصعب بزوغها . هذا وإن استخدام كميات بذار اضعاف المجتمع النباتي المتوقع هو تطبيق شائع الاستخدام لاجل التعويض عن البذور التي لا تنبت . وبالمقارنة نجد ان معدل الهلاكات المتوقعة يكون قليل في محاصيل الحبوب مثل الذرة الصفراء لذا يستخدم معدل بذار مقارب للمجتمع النباتي المطلوب .

لقد تأثر سلوك الذرة البيضاء بوقت مبكر من النمو بكثافة البذور اكثر من تأثيره بحجم البذور (Maranville and Clegg 1977).

وقد تحسنت نباتات المحصول في نهاية الموسم بكثافة البذور . الا ان الحاصل النهائي لم يختلف بين حجم البذور او كثافتها (جدول ٩ - ١٠) وعموماً فان الدلائل تشير بان البذور الكبيرة والكثيفة من المتوقع ان تعطي انبات واداء خضري جيد بوقت مبكر في موسم النمو . ولكن يبدو ان هذا التفوق يختفي في نهاية الموسم . ويكون الحاصل النهائي متساوي تقريباً . وهناك عدد من التفسيرات التي تبدو انها معقولة لتوضيح تضارب نتائج الاباحات حول فوائد البذور الكبيرة على البذور الصغيرة .

١ - ان البذور الكبيرة في البقوليات تكون ذات جنين كبير وبالتالي فهي ذات فوائد بسبب الفلقتان الكبيرتان اللتان تبدان بمساحة ذات تمثيل صوتي اكبر (Black 1956, 1959) ان الوزن النوعي الورقي (SLW) يكون عالي مما يؤدي الى تمثيل صوتي اكثر فعالية الا ان الفوائد البدائية سرعان ما تتلاشى بسبب عوامل اخرى مثل مقاومة التربة لبزوغ الفلق الكبيرة .

٢ - تحوي بذور الحشائش الكبيرة على غذاء احتياطي مخزون اكثر من احتواء البذور الصغيرة الا ان الزيادة في الغذاء الاحتياطي المخزون لهذه الانواع ذات اهمية قليلة او معدومة الى حين ان يصبح النبات معتمداً على نفسه في صنع الغذاء .

٣ - يبدو بان كثافة البذور مهمة . اي الحجم . لانها تمكس حجم الجنين و / او كمية العناصر المخزونة الا ان اغلب الدراسات قد إعتبرت حجم البذور بدل الكثافة لذا فان الدلائل قليلة حول فوائد كثافة البذور .

وضمن مدى معين لاغلب الاصناف المزروعة ولاغلب المحاصيل . ويبدو بان الفوائد التي يمكن الحصول عليها الناجمة من التاكيد على استخدام البذور الكبيرة او الصغيرة قليلة .

جدول (٩ - ١٠) تأثير حجم البذور وكثافتها على إنبات وحاصل جبوب الذرة البيضاء .

حاصل جبوب الحبوب	عدد التنباتات النهائي	وزن البذور	الانبات	حجم البذور أو الكثافة
١٤٣٥	١١ ب	٢٤ ج	٧١ ب ج	المقارنة
١٤٣٠	٦٤ ب	٣١	٨١	كبيرة
١٤٢٥	٥٨ ب	٣٣ د	٧٤ ج	متوسطة
١٤٢٥	٧١	٢٥ ب	٨٠ ب	تدنية
١٤٧٨	٧٣ ب	١٩ هـ	٥٣ د	خفيفة

المصدر: 1977 Maraville and Cleger
ملاحظة: أ. ب. ج. د. هـ. ... الفج تشير إلى التسمية باستخدام اختبار دكنن متعدد المراحل.

الخلاصة

تعتبر البذرة من الناحية البايولوجية بوضعية ناضجة ، ان جدارها يكون غلاف البذرة *testa* . اما بذور الحشائش المسماة بره (*caryopsis*) فهي عبارة عن ثمرة جافة ذات مبيض فردي وعند النضج يتحد جدار المبيض مع جدار البويضة ليكونا غلاف الثمرة *pericarp* . اما بذور الجزر والحسك فهي عبارة عن ثمرة جافة غير منفصلة (*schizocarps*) . تحوي على بذرتين اما بذرة عباد الشمس فهي ثمرة جافة غير منفصلة تحوي على بذرة واحدة حيث يكون الغلاف الثمري غير متحد مع غلاف البذرة (فقيرة *achene*)

ان بذور البنجر السكري ماعدا الاصناف ذات البذرة الواحدة ، ذات ثمرة مجمعة *aggregate fruits* حيث تجف لتكون البذرة *seed ball* .
تخزن بذور الحشائش النشاء والبروتين في السويداء *endosperm* والزيت في الجنين . بينما تخزن البقوليات الغذاء الاحتياطي في الفلقتان التي تمتص السويداء .

ان الغذاء الاحتياطي الرئيسي لحوالي نصف الانواع النباتية البقولية مثل اللوبيا والبقوليات البذرية الاخرى نشاء وبروتين . ان الاحماض الامينية لبروتينات البذور غير متوازن بسبب نقص اللايسين والترتوفين او الميثيونين . لذا فان قيمته البايولوجية تكون منخفضة لتغذية الحيوانات ذات المعدة البسيطة *monogastric* (ومنها الانسان) مقارنة مع المادة الخضراء المنتجة من البذور .
ان النشاء الموجودة في بذور الحشائش هو عادة أميلوبكتين هو النشاء السائد . وتشمل الكاربوهيدرات الاخرى في البذور لبعض الانواع على الهيميسيليلوز (المانوزات والزايلانات) الصغ والبكتين والسكريات . وتكون الليبيدات المخزونة عادة على صورة كليسات ثلاثية غير مشبعة او زيوت .

ان البروتين الرئيسي الموجود في بذور البقوليات هو الكلوبيولين (يذوب في الماء) اما البروتين الرئيسي في بذور محاصيل الحبوب فهو البرولامين (يذوب في الكحول) ولا يحوي البرولامين على اللايسين والترتوفين . وقد تحوي البذور على الفلويات والفينولات واللاكتونات التي تعمل عادة كمثبطات للانبات (اليات السكون *dormancy mechanisms*) .

يشمل انبات البذور (تمزق غلاف البذور ويزوغ الجذير) على تشرب الماء والامتصاص السريع للاوكسجين وتحلل المواد الغناثية المخزونة وتمثيل انسجة جديدة . ويتطلب الانبات الاوكسينات والجبريلينات والسايتوكاينينات اضافة الى

الاثيلين . وتحفز الجبريلينات اطلاق انزيمات التحلل . وبسبب اليات السكون فان البذور الحية قد لا تنبت بالرغم من توفر الظروف الملائمة للانبات وهي الظروف الملائمة لنمو البادرات . ويمكن ان يحدث السكون كما في منع غلاف البذرة لدخول الماء (بنور البقوليات) أو الاوكسجين (بنور بعض الحشائش) أو بواسطة مشبطات النمو . وعوامل السوياء أو الجنين والتي تشمل عادة على منظمات النمو ، تفقد البذور قدرتها على الانبات وقوة البادرات بمرور الوقت وخاصة تحت درجات الحرارة العالية أو الرطوبة وإن فقد الغزارة يكون اسرع من فقد القدرة على الانبات وهذا يؤدي الى اعطاء بادرات ضعيفة سريعة الاصابة بالامراض المنقولة عن طريق التربة .

ولاجل ان تنبت البذور فهي تتطلب الى الماء والاكسجين ودرجة حرارة معتدلة . وتحتاج بعض الانواع ظروف خاصة لكسر طور السكون ، اي حتى تكون بعد النضج (جاهزة للانبات) وذلك باستخدام معاملة او اكثر من المعاملات التالية ، معاملة البذور بظروف رطبة وباردة لفترة زمنية كافية . المعاملة بظروف رطبة بوجود الضوء المعاملة بمواد كيميائية وتشمل هذه على املاح الثيوريا او بيروكسيد الهيدروجيني والهورمونات ومنها الجبريلينات والاثيلين .

يعتبر الضوء المرئي في مدى الضوء الاحمر (٦٦٠ نانوميتر) من طيف الشمس اكثر فعالية في تشجيع الانبات . ويمكن ان يحل الضوء الاحمر والجبريلين ودرجات الحرارة المنخفضة كل بدل الاخر لكسر طور السكون في البذور التي تتطلب الضوء لاجل الانبات photoblastic مثل بذور الخس التي قد يحدث فيها السكون نتيجة عوامل بيئية او وجود سكون ثانوي هذا وتتطلب بعض البذور القيام بعملية التخديش scarification لاجل امتصاص الماء والاكسجين كما ان بعضها يحتاج الى الغسل لازالة مشبطات الانبات الموجودة في غلاف البذرة . وقد يكون طول فترة حيوية البذور بضعة اسابيع او لفترة عدة قرون وذلك اعتماداً على شدة ونوع السكون وظروف الخزن . هذا وان التداخل بين تراكيب البذرة ومشجعات النمو والمثبطات مع العوامل البيئية يؤدي الى تكوين عدد من اليات السكون المعقدة .

ويكون بزوغ البادرات اما ارضي hypogaeal (التوسع يكون تحت الفلق) وهوائي epigeal (التوسع فوق الفلقتان) . وبشكل عام تفضل البذور الكثيفة بزوغ البادرات والنمو لكنها قد تكون ذات تأثير سالب في بعض الحالات .

References

- Abdul-Baki, A. A., and J. D. Anderson. 1970. *Crop Sci.* 10:31-35.
- Abu-Shakra, S. S., and T. M. Ching. 1967. *Crop Sci.* 7:115-17.
- Albrecht, K. A., E. A. Oelke, and M. L. Brenner. 1979. *Crop Sci.* 19:671-76.
- Anslow, R. C. 1962. *J. Br. Grassl. Soc.* 17:260-63.
- Amen, R. 1963. *Am. Sci.* 51:408-24.
- _____. 1968. *Bot. Rev.* 34:1-31.
- Becquerel, M. P. 1934. *C. R. Acad. Sci. [Paris]* 199:1662-64.
- Bewley, J. D., and M. Black. 1978. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination*, vol. 1. New York: Springer-Verlag.
- Black, J. N. 1956. *Aust. J. Agric. Res.* 7:98-109.
- _____. 1959. *Aust. J. Agric. Res.* 8:1-14.
- Black, M., and H. M. Naylor. 1959. *Nature* 184:468-69.
- Bloor, W. R. 1928. *Chem. Rev.* 2:243-300.
- Bonner, J., and J. E. Varner, eds. 1965. *Plant Biochemistry*. New York: Academic Press.
- Borriss, H. 1949. *Jahrb. Wiss. Bot.* 89:254-339.
- _____. 1967. In *Physiologie, Ökologie, und Biochemie der Keimung*, 1, ed. H. Borriss. Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt Universität.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks, M. W. Parker, E. H. Toole, and V. K. Toole. 1952. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 38:662-66.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks, E. H. Toole, and V. K. Toole. 1954. *Bot. Gaz.* 115:205-25.
- Burriss, J. S., O. T. Edge, and A. H. Wahab. 1973. *Crop Sci.* 13:207-10.
- Ching, T. M., and W. H. Foote. 1961. *Agron. J.* 53:183-86.
- Ching, T. M., M. C. Parker, and D. D. Hill. 1959. *Agron. J.* 51:680-84.
- Clark, B. E., and N. H. Peck. 1968. *N.Y. Agric. Exp. Stn. Bull.* 819.
- Clark, L. E., J. W. Collier, and R. Langston. 1968. *Crop Sci.* 8:155-58.
- Copeland, L. O. 1967. *Principles of Seed Science and Technology*. Minneapolis: Burgess.
- Crocker, W. 1906. *Bot. Gaz.* 42:265-91.
- Danielson, H. R., and V. K. Toole. 1976. *Crop Sci.* 16:317-20.
- Daubert, B. F. 1950. In *Soybeans and Soybean Products*, ed. K. S. Markley. New York: Interscience.
- Dexter, S. T. 1955. *Agron. J.* 47:357-61.
- Dudley, J. W., and R. J. Lambert. 1969. *Crop Sci.* 9:179-81.
- Early, E. B., and E. E. DeTurk. 1948. *Proc. Am. Seed Trade Assoc. Chic.*, pp. 84-95.
- Evenari, M. 1949. *Bot. Rev.* 15:153-94.
- Fehr, W. R., and A. H. Probst. 1971. *Crop Sci.* 11:865-67.
- Flint, L. H., and E. D. McAlister. 1937. *Smithson. Misc. Collect.* 96:1-8.
- Gadd, I. 1955. *Proc. Int. Seed Test. Assoc.* 23:41.
- Grabe, D. F. 1956. *Agron. J.* 48:253-56.
- Hay, J. R. 1967. In *Physiologie, Ökologie, und Biochemie der Keimung*, 1, ed. H. Borriss. Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt Universität.
- Hendricks, S. B., V. K. Toole, and H. A. Borthwick. *Plant Physiol.* 43:2023-28.
- Jennings, A. C., and R. K. Morton. 1963. *J. Biol. Sci.* 16:318-31.
- Khan, A. A., and N. E. Tolbert. 1965. *Physiol. Plant.* 18:41-43.
- Kalton, R. R., R. A. Delong, and D. S. McLeod. 1959. *Iowa State J. Sci.* 34:47-80.
- Kinzel, W. 1926. *Frost und Licht, Neve Tabellen*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Klingman, G. C., and F. M. Ashton. 1975. *Weed Science: Principles and Practices*. New York: Wiley.
- Leopold, A. C., and P. E. Kriedemann. 1975. *Plant Growth and Development*. New York: McGraw-Hill.
- McDonald, M. B., Jr., and A. A. Khan. 1977. *Agron. J.* 69:558-63.
- Maranville, J. W., and M. D. Clegg. 1977. *Agron. J.* 69:329-30.
- Martin, G. L., and M. E. Heath. 1973. In *Forages*, ed. M. E. Heath et al. Ames: Iowa State University Press.

- Mayer, A. M., and A. Poljakoff-Mayber. 1963. *The Germination of Seeds*. New York: Macmillan.
- . 1967. In *Physiologie, Ökologie, und Biochemie der Keimung*, 1, ed. H. Borris. Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt Universität.
- Meyer, B. S., and D. B. Anderson. 1949. *Plant Physiology*. New York: Van Nostrand.
- Meyers, O., G. Gaffney, and D. Hall. 1979. Abstracts III. State Acad. Sci.
- Morinaga, T. 1926. *Am. J. Bot.* 13:159-66.
- Nuttle, G. E. 1945. *Plant Physiol.* 20:433-42.
- Ohga, I. 1926. *Am. J. Bot.* 13:754-59.
- Osler, R. D., and J. L. Cartter. 1954. *Agron. J.* 46:267-70.
- Olvera, E., S. H. West, and W. G. Blue. 1982. Submitted for publication.
- Orthoefer, F. T. 1978. In *Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization*, ed. A. G. Norman. New York: Academic Press.
- Osborne, T. B. 1924. *Monographs on Biochemistry: The Vegetable Proteins*. 2d ed. London: Longmans, Green.
- Poljakoff-Mayber, A., A. M. Mayer, and S. Zacks. 1958. *Ann. Bot. n.s.* 22:75-81.
- Porsild, A. E., and Harrington, C. R. 1967. *Science* 158:113-14.
- Rinker, C. M. 1954. *Agron. J.* 46:247-50.
- Ryan, C. J. 1973. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:173-96.
- Simpson, G. M. 1978. In *Dormancy and Development Arrest*, ed. M. E. Cutter. New York: Academic Press.
- Smith, A. K., and S. J. Circle. 1972. In *Soybean Chemistry and Technology*, ed. A. K. Smith and S. J. Circle. Westport, Conn.: AVI.
- Smith, T. J., and E. M. Camper, Jr. 1975. *Agron. J.* 67:681-84.
- Stone, J. F., and B. B. Tucker. 1969. *Agron. J.* 61:76-78.
- Tilden, R. 1984. Ph.D. diss., University of Florida, Gainesville.
- Toole, E. H., and S. Hendricks. 1956. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 7:229-324.
- Toole, V. K., and E. J. Koch. 1977. *Crop Sci.* 17:806-11.
- Tukey, H. B., and R. F. Carelson. 1945. *Plant Physiol.* 20:505-16.
- Van Overbeek, J. 1968. *Sci. Am.* 219:75-81.
- Vegis, A. 1963. In *Environmental Control of Plant Growth*, ed. L. T. Evans. New York: Academic Press.
- Wiesner, L. E., and R. C. Kinch. 1964. *Agron. J.* 56:371-73.

تعد الجذور العضو الخضرى الرئيسى الذى يجهز الماء والعناصر الغذائية والمركبات الضرورية لنمو وتكوين النبات . وبالرغم من هذه المساهمات الحيوية ففي اغلب الاحيان تهمل دراسة الجذور بسبب انها غير مرئية ولسوء الحظ انها « خارج رؤية الانسان . ولا يتذكرها » .

ان دراسة الجذور نسبياً مقارنة مع تلك التى تجري لاعضاء النبات الاخرى ويعود ذلك بالدرجة الرئيسة الى الصعوبات التى تواجه تلك الدراسة ومع ذلك فهناك فرصة اكبر لتشجيع نمو النبات من تغير بيئة الجذور بدلاً من تغير بيئة الساق حيث من السهل نسبياً تحفيز حالات هواء وماء وعناصر بيئة الجذور *rhizosphere* بالمعاملات الزراعية . ويمكن تأثير درجة الحرارة التربة بالحراثة والفرش النباتي *mulching* . وتغير الرطوبة بالري وحالة العناصر بالتسميد ومن جهة اخرى من المستحيل تغيير جو او بيئة سيقان نباتات المحاصيل . لذا يجب اعطاء اهتمام اكبر لدراسة الجذور مما هو عليه في الوقت الحاضر .

وظائف الجذور

ان نمو جذور نشطة وقوية تكون عادة ضرورية لغرض الحصول على نمو ونشاط جيد للاجزاء العلوية . وعندما تتضرر الجذور بالعوامل او المؤثرات البيولوجية او الفيزيائية او الآلية (الميكانيكية) فان وظيفتها تصبح ذات كفاءة اقل وبالتالي تنخفض كفاءة نمو الجزء العلوي للنبات ايضاً .

تقدم جذور النباتات بالوظائف المهمة التالية (Weaver 1926)

١ - الامتصاص

٢ - التثبيت

٣ - الخزن

٤ - النقل

٥ - التكاثر

كما انها ايضاً مصدراً رئيسياً لبعض منظمات نمو النبات . يحدث امتصاص الماء والعناصر الغذائية بصورة رئيسية خلال قمم وشعيرات الجذور . كما تقوم الاجزاء القديمة والثقيلة من الجذر بالامتصاص ايضاً . وتقوم الجذور القديمة بالوظائف الضرورية في نقل وخزن المركبات وبشكل مناظر لنقل المركبات من وإلى الاوراق بواسطة السيقان والافرع .

تستيتت النبات ضد القوة المتأتية من الاجزاء الجانبية التي تتغلغل في مناطق التربة الكثيفة .

تعمل الجذور احياناً كمضو رئيسي لخزن الغناء الاحتياطي وخاصة في نباتات ذات الفلقتين . إن جذور نباتات ذات الفلقتين مجهزة جيداً بخلايا القشرة واللب او انسجة برنكيمية (مثل البنجر السكري والحبث ونباتات اخرى ذات جذور لحمية) . بالمقارنة نجد ان جذور الحشائش تكون رفيعة وذات قدرة خزنية قليلة . يمكن استعمال جذور نباتات عديدة في التكاثر بسبب قابليتها على تكوين افرع او تفرعات عرضية وخزن الغناء الذي يعمل على دعم النمو الجديد . وإن عدداً من انواع الادغال الخيشية مشهورة في هذا النوع من التكاثر حيث انها تقاوم الابداء بالحراثة .

ويعتقد بان الجذور مصدراً رئيسياً لمنظمات النمو الجبريلينات والسايتوكاينينات التي تؤثر على النمو الكلي للنبات وتكوينه (انظر الفصل السابع) .

تقنيات دراسة الجذور Root Study Techniques

ادى صعوبة دراسة الجذور الى تطوير عدد من التقنيات لتحسين الكفاءة . واسأ تستخدم طريقتين : طريقة الدراسة في الموقع والطريقة غير المباشرة مثل استخدام النظائر المشعة radioactive isotopes او المقتنيات الملونة dye tracings

.. (MacKey 1980)

١ - طريقة خندق مقد التربة TRENCH PROFILE METHOD

نشأت طريقة حفر خندق مقد التربة في الدراسة التقليدية للجنور التي اجراها Weaver (1926) ولا زالت تستعمل مع بعض التحويرات (Kutschera 1960) وتشمل على حفر خندق عمودي في المرز أو بجانب النبات الفردي ورسم خارطة أو تصوير الجنور المرئية .

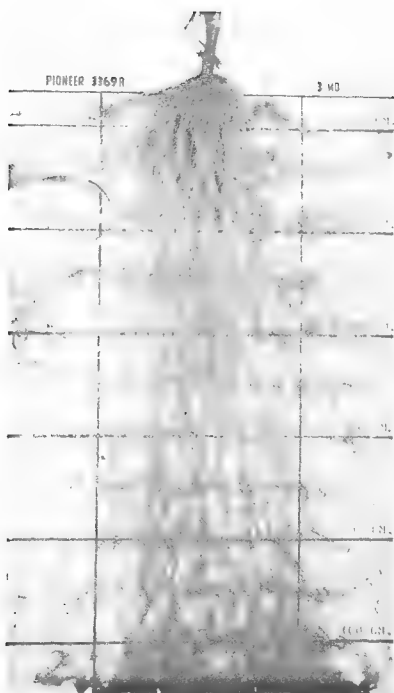
٢ - طريقة رفع قطعة تربة بلوحة المسامير FRAMED MONOLITH AND PINBOARD METHOD

ان طريقة رفع قطعة كبيرة من التربة هي طريقة خندق مقد التربة قد حورت لقياب انتشار وتوزيع الجنور . حيث توضع المسامير في ثقب على مسافات متساوية في اللوحة وتوضع ضد وجه الخندق لحصر الجنور في مقد التربة في المكعب . ويتم قطع قطعة كبيرة من التربة ورفعها من الخندق وبعد تقعها في الماء تغسل الجنور بعناية وتحرر من التربة ويتم توضيحها وقياس طولها ووزنها والمقاييس الاخرى

المطلوبة (Bohm et al. 1977) (شكل ١٠ - ١) . وتستخدم صيغة الـ Congo الحمراء اللون التي تسمح بتمييز الجنور الحية عن الميتة وذلك بتلوينها . وتوفر طريقة رفع قطعة كبيرة من التربة اجراء قياسات كمية الا انها مجعدة وتحتاج الى وقت طويل ومكلفة .

٣ - طريقة استنزاف رطوبة التربة SOIL MOISTURE DEPLETION METHOD

يمكن قياس استنزاف رطوبة التربة مباشرة بالطريقة الوزنية gravimetric (وزن عينات التربة) او بواسطة المدس النيوتروني neutron probe وتشير هذه القياسات الى عمق فقد الرطوبة . وعادة تمتدى منطقة فقد الرطوبة عمق الجنور بحوالي ١٥ سم (Stone et al. 1976) بسبب انتقال الرطوبة في التربة . وتمتد هذه الطريقة سريعة الا انها غير دقيقة في تحديد كثافة الجنور ومقاييس الجنور الاخرى بسبب ان معدل استخلاص الماء يعتمد ايضاً على حاجة التبخر وجهد ماء التربة والصفات الرطوبة للتربة .



شكل (١ - ٢) النظام الجذري لنبات الذرة الصفراء (طريقة رفع قطعة تربة بلوحة المسامير) الجذور الملاحظة هي الجذور المريضة أو الجذور المتقدمة أما الجذور البثرية فهي غير واضحة.

٤ - طريقة اخذ عينات اللب Core-Sampling Method

تزيل عينات اللب Core اجزاء تربة غير موزعة تحوي على الجذور من منطقة الجذور من مواقع محددة مسبقاً بالقرب من النبات او من خط الزراعة (Newman 1966) . ويستعمل عادة انبوب او دلو لاخذ العينات . ويتطلب عدة لباب cores من كل نقطة محددة في الدراسة . ويمكن ان تؤخذ العينات اليأ الا انها شبه كمية فقط **semi-quantitative**.

٥ - طريقة الـ MINIRHIZOTRON

يمكن استعمال انبوب زجاجي وذلك بوضعه في مقد التربة بمساعدة ضوء ومراة او كاميرا تلفزيونية لملاحظة نمو الجذور بجانب الزجاجاة وان نتاج هذه الطريقة نوعية فقط . ان استعمال صندوق لزراعة النباتات مع جهة زجاجية مائلة او انايبب شفافة مائلة بمقدار ٢٠ - ٣٠ درجة من الوضع العمودي وتبقى مظلمة يمكن ان تشير الى معدل نمو وتعميق الانتشار عند ملاسة الجذور للزجاج والاستمرار بالنمو الى الاسفل .

٦ - طريقة النظائر المشعة RADIOACTIVE ISOTOPE METHOD

ان وضع النظير المشع ^{32}P على اعماق مختلفة يمكن ان يعطي دلالة على عمق الجذور وذلك من حساب وتسجيل امتصاص العنصر المشع . وان هذه الطريقة غير فعالة في تحديد كثافة الجذور . وهناك طريقة اخرى مشابهة تشمل على وضع اكياس بلاستيكية مثقبة تحوي على سماء نيتروجيني على اعماق مختلفة وملاحظة تغير محتوى النيتروجين في الاجزاء الخضرية ومقارنة نتائج الحاصل وخاصة مع نباتات العشائش .

٧ - طريقة العلاقة (الومتری) ALLOMETRY METHOD

تفترض هذه الطريقة تناسب لوغارتمي لوزن اجزاء النبات وفي هذه الحالة نسبة الساق الى الجذر shoot-root (S-R) ratio . ويشير النمو الكبير للجزء العلوي للنبات الى نمو كبير للجذور ايضاً . وتعطي قياسات ارتفاع النبات صورة دقيقة عن عمق جنور فول الصويا في تربة خالية من الحواجز في ظروف الري أو المطر (Mayaki et al. 1976) . وكان عمق الجذور ضعف ارتفاع النبات في مرحلة النمو V_٤

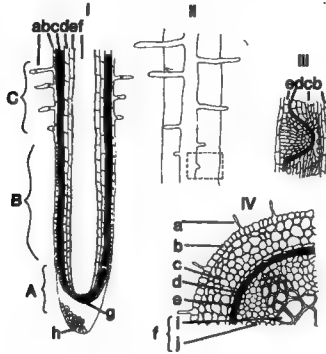
(مرحلة النمو الخضري بوجود ثلاثة أوراق منبسطة) واستمرت هذه العلاقة حتى تكوين القنات عندما أصبح طول الجذر يساوي ١.٤ مرة بقدر ارتفاع النبات . وتحوي النباتات المروية على حوالي ١٥ ٪ جذور أكثر على أساس الوزن في منطقة صفر - ١٥ سم . هنا وكانت طبيعة جذور ٢٣ سلالة من الحشائش المعمرة ذات علاقة الموترية (Troughton 1956) . وقد تعطي هذه الطريقة نتائج مضللة في الترب الحاوية على حواجز حيث أنها لا تغير نسبة الساق إلى الجذر معنوياً إلا أنها تغير موقع كتلة الجذور كثيراً (Taylor 1963)

وفي أغلب الدراسات يتم وصف الجذور بتسجيل إما الوزن الطري أو الوزن الجاف . هنا ولا توجد علاقة جيدة بين وزن الجذور وامتصاص الماء والعناصر وهي الصفات الرئيسية المطلوبة في دراسات الجذور . إن الجذور الرفيعة والحديثة وهي أساساً منطقة الشعيرات الجذرية ذات فعالية عالية في امتصاص العناصر . إن الشعيرات الجذرية محدودة في منطقة صغيرة تتراوح من بضعة مليمتترات إلى بضعة سنتيمترات على الأكثر من الجذر قرب القمة . وتكون الشعيرات الجذرية مباشرة بعد استطالة خلايا البشرة *epidermal cells* . كان عدد ومعدل تكوين الشعيرات الجذرية أكثر عند درجة حرارة ٢٦ م° من درجة حرارة ١٥ م° . إلا أن فترة حياتها كانت ٤٠ - ٥٥ ساعة لدرجتي الحرارة على التوالي (McElgunn and Harrison 1969) . وهذا يؤكد وجود معدل ثابت نوعاً لتكوين الشعيرات الجذرية للنوع المدروس . هنا ويعتمد طول منطقة الشعيرات الجذرية لحد ما إلى التركيب الوراثي والبيئة . وإن أفضل تقدير لكفاءة امتصاص الجذور هو تحديد كثافتها *root density* (طول الجذر بحجم التربة) (Barley 1970) أو بمساحة سطح الجذر بدلاً من طول الجذر (Barber 1978) .

نشوء الجذر ونموه Root Initiation and Growth

ينتج طول الجذر من استطالة الخلايا الموجود خلف المرسيم القمي ويتكون من العرض الأكثر من توسع الخلايا القمية مرستيم جانبي أو يتكون كامبيوم *cambium* الذي ينشئ نمو ثانوي من مرستيم الكامبيوم . وإن النمو الطولي للجذر أو النمو المحيطي مشابهاً للنمو في الساق . إلا أن التفرع الجانبي للجذور لا يشابه التفرع الجانبي في الساق . إلا أنها تنشأ من -البائرة المحيطة *pericycle* من على عمق

من أنسجة قديمة او متخصصة . ويختلف التكوين الشكلي كثيراً من سطح اصل
الفروع من القمة في الساق (شكل ١٠ - ٢) .



شكل (١٠ - ٢) مقطع طولي لجذير ذات الفلقتين . ١ - قمة الجذر ومناطق انتظام الخلايا (A) . والاستطالة (B) . والنضج (التمييز) (C) . ١١ - مقطع الجذر الخارج مع جنور جانبية في مراحل تكوين مختلفة . ١٢ - مرستيم الجذر الجانبى ينمو من الدائرة المحيطة . ١٣ - مقطع عرضي لجذر حديث . الأنسجة المتميزة ، شعيرة جنرية (a) . البشرة (b) . القشرة (c) . القشرة الداخلية (d) . الدائرة المحيطة (e) . الاسطوانة الداخلية (f) . مرستيم فومركس ساكن (g) . قلسوة الجذر (h) . الخشب (i) . اللحاء (j) .

وتوجد مقارنة تفصيلية للتكوين الشكلي بين الجذر والساق في جدول (١٠ - ١) . واعتماداً على فعالية انزيم الـ ATPase فإنه يشير الى معدل ابيض عالي وهي صفة مميزة للمرستيمات . ويقع المرستيم تحت القمة على بضعة ميليمترات من قمة الجذر (شكل ١٠ - ٢) . لوحظ بان فعالية انزيم الـ ATPase في جنور فول الصويا تبدأ قرب القمة وتستمر الى مسافة 27.5 ملم . الا ان اقصى فعالية تكون عند مسافة 3.5 ملم (Travis et al. 1979) . وكانت اعلى استطالة للجنور في المنطقة بين ٥ - ١٥ ملم . وتشمل منطقة التخصص على الشعيرات - الجنرية والخشب

جدول (١٠ - ١) مقارنة بين تكوين الساق والجذر

الساق	الجذر
مرستيم قمى	المرستيم تحت قمى
تظهر الاعضاء الجانبية بالقرب من	تظهر الاعضاء الجانبية بمسافة بعيدة عن
المرستيم القمى	المرستيم القمى
تظهر الاعضاء الجانبية من الطبقات	تظهر الاعضاء الجانبية من طبقات الانسجة
السطحية	الداخلية
تتواجد العقد والسلاميات بسبب	عادة من الدائرة المحيطة .
التكوين المنظم للاعضاء الجانبية	العقد والسلاميات غير موجودة
لا يكون الخشب الابتدائي واللحاء	يكون الخشب الابتدائي واللحاء الابتدائي
الابتدائي	
على نفس القطر	على اقطار متبادلة . وبشكل يشبه النجمة
يظهر الكامبيوم الوعائى من	يظهر الكامبيوم الوعائى من كلا
الخلايا البرنكمية بين الخشب	الخلايا البرنكمية بين الخشب واللحاء
واللحاء الابتدائي	الابتدائي ومن الدائرة المحيطة
تحموي البشرة على الثغور	لاتحموي البشرة على الثغور
تكون عادة الدائرة المحيطة غير	تكون عادة الدائرة المحيطة موجودة
موجودة في نباتات البذور	في نباتات البذور
تكون عادة القشرة الداخلية غير	دائما تكون القشرة الداخلية موجودة
موجودة	
لا يوجد مركز سكون في المرستيم	يوجد مركز سكون في المرستيم
القمى	القمى

واللحاء والدائرة المحيطة والخلايا المتخصصة الاخرى وتبدأ في حوالي ١٥ الى ٢٥ ملم (شكل ١٠ - ٢) . وكلما كان نمو الجنور اسرع كلما كان طول منطقة التخصص اكثر .

وان الخلايا الجديدة من مرستيم الجذر القمى قد تنقسم اما الى توسع الجذر او تجديد قنسوة الجذر root cap . وتلعب قنسوة الجذر دوراً مهماً في حماية مرستيم الجذر من الضرر الفيزيائي خلال اختراق وتغلغل التربة ومن المحتمل انها

توجه اتجاه الجذر . وتقوم خلايا قلمسوة الجذر المنسلخة ايضاً بتزيت القمة النامية . ومواد للاحياء المجهرية وهي مادة عضوية تضاف الى التربة . وتنتج قلمسوة الجذر ايضاً جامض الابسيسيك *abscisic acid* . وهو منظم نمو نباتي .

يختلف مرستيم قمة الجذر عن مرستيم قمة الساق بان فعالية الـ DNA والـ RNA والانتسام الخلوي mitotic تكون منخفضة نسبياً (Milthorpe and Moorby 1974) . وفي حالة تضرر قمة الجذر أو قطعها فان المنطقة الوسطى تكون مرستيم جديد وتعيد خاصية الانتحاء الارضي (Geotropism) خلال ٣٦ ساعة في ظروف درجة حرارة ملائمة (Clowes 1969) . ويمكن ان يستمر توسع الجنور وتجديد القلمسوة كما كان في السابق .

التوسع EXTENSION

ان مرستيمات الجنور قادرة على النمو بصورة مستمرة وغير محدودة والتي تؤدي الى توسع الجنور لفترات غير محدودة . وقد يحدث النمو خلال موسم النمو او لفترة اطول . ويصل تظفل الجنور الى مسافة ٢ متر في الموسم . وقد وجد بان الجنور المقطوعة تنمو لمدة ٤٠ الى ٥٠ اسبوع ولكن هنا فقط عندما يكون محتوى السكر في الوسط الغذائي منخفض نسبياً وكذلك التغير في محلول الزراعة بصورة مستمرة (Street 1959) . وتشجع مستويات السكر العالية على التعمير ageing ونقص توسع الجنور . وتستطيل جنور الحشائش (*Agropyron*) المناقلمة للمناطق الجافة بمعدل يصل الى ١٥ سم بالاسبوع وكان هناك تبايناً كبيراً في طور الجنور الكلي بين الانواع بعد ٤٩ يوم .

وكما يلي (Kittock and Patterson 1959) -
A. desertorum ٧٣.٨ سم / و *A. intermedium* ٧٢.٥ سم و
A. cristatum ٤٨.٩ سم ، وفسكو الطويل *tall fescue* (*Festuca arundinacea*) فقط ١٢.٢ سم . ان هذه القيم تعكس السيطرة الوراثية للاختلافات المورفولوجية التي تمنح الاختلافات في تحمل الجفاف . ويعتقد بان معدل نمو الجنور عادة ينخفض مع النضج . وفي فول الصويا كان طول الجذر الكلي بوحدة مساحة الورقة ٦٣٠ ملم / م^٢ مساحة ورقية في مرحلة V_6 و ١١٩٠ ملم / م^٢ في مرحلة $V_{12}R_2$ و ٢٤٥ ملم / م^٢ في مرحلة $V_{12}R_4$ (Sivakumar et al. 1977) . وفي

دراسة اخرى ازداد طول الجذر لفترة ٧٠ - ٨٠ يوم ثم بقي ثابتاً الى ١٠٠ يوم ثم انخفض بعد ذلك (Barber 1978). وبالرغم من ان كثافة الجذور قد تنخفض مع النضج. الا ان تعميق الجذور يستمر في الزيادة من مرحلة R₂ في الفول الصويا (Kaspar et al. 1978)

ويظهر بان انخفاض كثافة الجذور خلال مرحلة امتلاء البذور في هذه الدراسات ذات اهمية فسيولوجية خاصة. حيث يشير الى انخفاض امتصاص العناصر في وقت الحاجة القصوى لها. إن شيخوخة اجزاء النبات الخضرية واعادة توزيع العناصر ونواتج التمثيل الى الثمار قد تكون نتيجة منطقية او بسبب نقص نمو الجذور. ان فقد الجذور يعني فقد فعالية القمم والمرستيمات في الجذور وقد يصاحبه انخفاض في تصدير السايكوتوكاينين من الجذور الى السيقان. وقد يكون انخفاض السايكوتوكاينين الآلية المنظمة للشيخوخة.

الجذور الجانبية

كما شرح مسبقاً تنشأ الجذور الجانبية من مرستيمات الدائرة المحيطة وعلى مسافة عدة سنتيمترات من قمة الجذر (شكل ٢ - ٣). ويخروج الجذر الجديد خلال القشرة الداخلية endodermis والقشرة cortex حيث يؤدي الانقسام والتوسع الخلوي الى دفع قمة الجذر باتجاه سطح الجذر (Clowes 1969). وفي نوات الفلقتين تتكون الجذور الجانبية من النقطة المقابلة لنجمة الخشب xylem star (نمط تكوين الخشب في المقطع العرضي للجذر). وتحوي نجمة الخشب في جذور البنجر السكري على نقطتين لذا فانها تحوي على جذرين فرعيين. اما نجمة خشب جذر فول الصويا فتحوي على اربعة نقاط لذا فتكون اربعة جذور عرضية. وفي جذور القطن تحوي نجمة الخشب على اربعة او خمسة او ستة نقاط (McMichell 1985).

وتنظم عملية تكوين الجذور الفرعية وراثياً الا انها تتأثر بدرجة كبيرة بالعوامل البيئية. وينتج التنظيم الوراثي من ثلاثة عوامل ،

١ - انتاج مثبط بيتا β -inhibitor فسي قمم الجذر الذي يقلل السيادة القمية (Street 1959; Clowes 1978)

٢ - انتاج مركبات مخففة للنمو في الساق والتي تنتقل الى الجذور (مثل الاوكسين. الثايمين. حامض النيكوتين nicotinic acid والادنين).

٣- وجود توازن او تفاعل بين مركبات محفزات النمو ومبشطات النمو. يؤدي جرح او زالة قمة الجذر الى ازالة السيادة القمية وتشجيع تكوين الجذور الجانبية. ويحفز الاوكسين تكوين الجذور الجانبية على اقسام مقطوعة من جذر نبات field bindweed عند الزراعة على اوساط غذائية (Westmore and Steeves 1971).

ويحفز ثاني اوكسيد الكربون وحامض الجبريليك تكوين الجذور الجانبية والتي تعرف بتأثير سداة القنينة "stoppered bottle" والذي يعتقد بان هذا يحدث بسبب انتاج الاثيلين (Street 1959). هذا وقد يكون ذلك بسبب ثاني اوكسيد الكربون.

التمييز DIFFERENTIATION

تظهر أولاً الخلايا او الانسجة المتخصصة في القمة غير المتميزة في تكوين الشعيرات الجذرية وهو توسع جانبي لخلايا البشرة (شكل ١٠ - ٢). وقد يصل طول الشعيرات الجذرية عدة ميليمترات و ٢٠٠ شعيرة جذرية بكل ميليمتر مربع. وان طول فترة حياة الشعيرة حوالي ٥٠ ساعة بدرجة حرارة معتدلة واقصر عند درجة حرارة اعلى (McElgunn and Harrison 1969).

وتتكون منطقة شعيرات جذرية طولها بضعة سنتيمترات كلما ينتج جزء نمو جديد. هذا وتنتج الشعيرة الجذرية صمغ يجذب فعالية الاحياء. والمهم نظرياً هو ان الشعيرات الجذرية توفر مساحة سطحية كبيرة جداً تتعارض مع اسطح واحجام كبيرة من اقسام التربة المختلفة لامتصاص العناصر وعلى بضعة ميليمترات من قمة الجذر تبدأ خلايا الـ amorphous بالاختلاف في الحجم والشكل والتركيب وتصبح متخصصة او متميزة وتحتوي الاسطوانة المركزية او الوعائية على انسجة الخشب واللحاء وهي محاطة بطبقة واحدة من خلايا سمكة تسمى بالدائرة المحيطة *pericycle* وتكون خلايا القشرة *cortex* البرنكيكية رقيقة الجدران محصورة بين القشرة الداخلية *endodermis* من الداخل والبشرة *epidermis* من الخارج (شكل ١٠ - ٢). وتملك جذور ذوات الفلقتين القدرة على النمو قطرياً من الكامبيوم الوعائي (جدول ١٠ - ١). وقد وجد بان توازن الاوكسينات والسايتوكاينينات في قاعدة نهاية اجزاء جذور الفجل ضروري للسك الثانوي من الكامبيوم الوعائي (Torrey and Loomis 1967). وسواء كان الاوكسين

طبيعي ام صناعي (مثل 2,4-D) وبالتعاون مع إيسيتوكانين كان فعالاً في تحفيز فعالية الكامبيوم الوعائي والسك الثانوي . وإضافة الى فقد الشيمرات الجذرية تفقد أيضاً أقسام الجنور القديمة المتخصصة قدرتها على الامتصاص وتصبح *suberized* (متشربة بمركبات فينولية) .

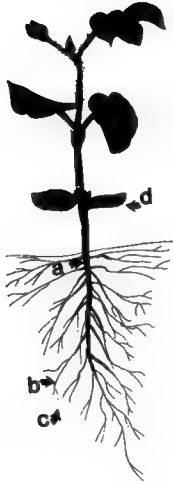
الانظمة الجذرية Root Systems

في الوسط المتجانس الخالي من معوقات الجنور وهذا نادراً او غير موجود في الطبيعة . يغطي نمو الجذر شكل هندسي شبه كروي او اسطواني او مخروط او مخروط مقلوب اعتماداً على التركيب الوراثي . ويشار الى هذا الشكل ومكوناته عند اية نقطة في دورة حياة النبات بالنظام الجذري . وتساهم عوامل عديدة في اختلاف الصفات الهندسية لانظمة الجذر مثل درجة الدقة وطبيعة التفرع والانتحاء الارضي . كما تؤثر عوامل التربة أيضاً بدرجة كبيرة على نمو الجذر وشكل النظام .

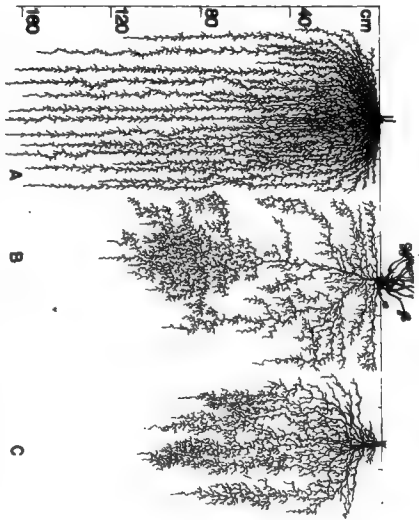
جذور ذات الفلقتين

ان النظام الجذري في انواع ذات الفلقتين تحوي بشكل عام على جذر رئيسي كبير ذو انتحاء ارضي موجب مع تفرعات جانبية رفيعة (شكل ١٠ - ٢) وتزداد دقة (قلة في السك) الافرع مع زيادة الترتيب . اي ان الافرع من الترتيب الرابع تكون اقل سكا من الافرع من الترتيب الثاني . وأحياناً يكون الجذر الرئيس (الجذر الوتدي) ذو سمك ثانوي كبير بحيث يعرقل التفرعات الثانوية او الجانبية (مثل الجزر) . ويوجد بين نموذج الجذر الوتدي ونموذج النظام الليفي الجذري (مثل نباتات الحشائش) عدد من انواع الجنور الوسيطة (شكل ١٠ - ٤) . وتحوي عادة جنور بعض الانواع مثل الفجل والشلغم على انتفاخات كبيرة غير طبيعية او سمك ثانوي في منطقة السويقة الجينية السفلى للجذر الرئيس . ويكون عادة انتفاخ الجذر الوتدي للبنجر السكري والجزر موزعاً على طول الجذر . وان المخروط المقلوب لهذه الجنور ذو قشرة سمينة متكيفة لخصن الكاربوهيدرات .

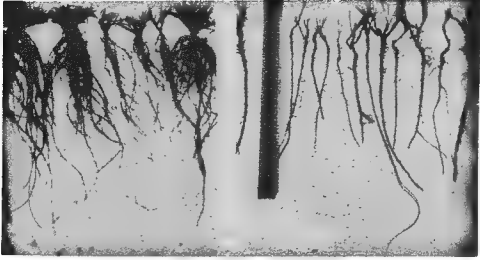
ويمثل الجت المحصول العلفي المعمر النظام الجذري الوتدي . بينما يكون نفل خف الطير نظام جذري متفرع نوعاً (شكل ١٠ - ٥) . إن انظمة الجذر الوتدي المتفرع شائع في جميع البقوليات وذلك لانه يتحفر بحواجز التربة او الجروح او الاضرار الحاصلة لقمة الجذر الرئيسي .



شكل (١٠ - ٣) ساق باهرة نبات ذات الفلقتين ونظامها الجذري (فول الصويا) ، الجذر الأولي (a) ، الجذور
الثانوية أو الجانبية (b) ، الجذور الرمحية (c) ، الفلقتان (d)



شكل (١ - ٣) طرق أنظمة الجذور - A - جذم المسك - B - الخيل الأبيض - C - الخيل
(From Kutscher 1960)



شكل (١٠ - ٥) مقارنة أنظمة جذور نبات قفل خف الطير (يسار) . والبحت (يمين) . يمثل نفل خف الطير
جذر وتدي متفرع . والبحت يمثل جذر وتدي غير متفرع .

وقد وجد ان الجذور الجانبية لفول الصويا في بداية الموسم تكون اقل تعمقا من الجذر الرئيسي (Mitchell and Russell 1971) . وتكون الزاوية المتكونة بالجذور الجانبية والجذر المقابل منفرجة . وفي نهاية دورة النمو تصبح هذه الجذور والجذور المتكونة حديثا ذات انتحاء موجب قوي وتنمو بصورة عمودية مكونة زاوية حادة مع الجذر الرئيسي . لقد وضع Mitchell and Russell (1971) تطور نبات فول الصويا (المجموعة الثانية) ونمط نمو جذورها في ولاية ايوا بالمرحل الثلاثة التالية :

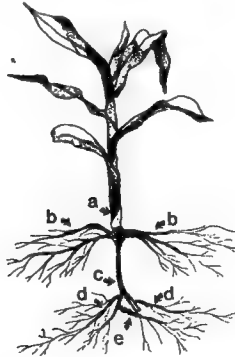
- ١ - مرحلة النمو الخضري من صفر الى ٣١ يوم . انتحاء ارضي موجب للجذر الرئيسي الى عمق ٥ - ٦٠ سم وتفرعات جانبية افقية بصورة رئيسية في الجزء العلوي (١٠ سم) من التربة .
- ٢ - مرحلة امتلاء القنرات من ٦٧ - ٨٠ يوم وتكون تفرعات جانبية جديدة ذات انتحاء ارضي موجب . وتفرعات من الترتيب الثاني والرابع ، وتتواجد العقد

الجنرية على الجذر الرئيسي والافرع الجانبية الخشنة . وان حوالي ٨٥ ٪ من وزن الجذر الكلي يكون من الـ ١٥ سم العلوي من التربة .

٢- امتلاً القترات السريع من ٨٠ - ١٠٠ يوم . ينخفض في هذه الفترة نمو الجذر الرئيسي بينما يكون نمو الجذر الجانبى قوى ذو اتجاه ارضى موجب يصل الى عمق ١٢٠ - ١٨٠ سم . ويزداد وزن الجذر في الـ ٨ سم العلوية من التربة وكذلك اسفل الـ ١٢٠ سم منها .

جذور ذات الفلقة الواحدة

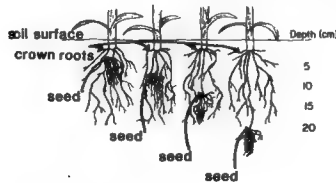
تكون جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة (الحشائش) رقيقة او دقيقة ولا تحوى على الكامبيوم cambium للسك الثانوي . ويطلق عليها بشكل عام مجموعة بالنظام الجذري الليفى fibrous root system . ويتكون نظام جذر ذات الفلقة الواحدة من نوعين من الجذور (شكل ١٠ - ٦) -



شكل (١٠ - ٦) يبين مرحلتين لنظام جذر ذات الفلقة الواحدة (الذرة الصفراء) . a . غمد البروشة . b . جذور عرضية ، السويقة الجنينية الوسطى (c) . جذور بذرية (d) . البذرة (e) .

١- الجنور الابتدائية *Seminal roots* أو الجنور البذرية *seed roots* وهي تتكون عند تكوين الجذير *radicle* من العقدة الاولى (عقدة القصعة *scutellar node*) من محور جنين البذرة . وتبقى الفلقة *scutellum* والعقدة المقابلة في داخل البذرة لذا يطلق عليها جذور البذرة . وفي الحنطة تبقى العقدة الثانية أو عقدة الرويشة *coleoptilar, node* وعقدة القطعة *scutellar node* في البذرة ، حيث يكون البزوغ من استطالة السامية الثانية (انظر الفصل الحادي عشر) . وهكذا فان هذه العقدة تساهم ايضاً بعدد الجنور الابتدائية . وتشمل الجنور الابتدائية في الحنطة على الجذير ومن ١- ٧ من الجنور المتكونة من عقدتي البذرة هذه . ويختلف عددها بشكل كبير باختلاف التركيب الوراثي ، ويبدو بان الاختلافات في عدد الجنور الابتدائية تساهم في محاسن التكيف والمنافسة وخاصة في بعض البهيات (Pavlychenko 1937) .

٢- الجنور العرضية *Adventitious roots* وتسمى ايضاً بالجنور العقدية *roots nodal*، او *coronal, roots* او الجنور التاجية *crown roots* وهي تتكون من العقد السفلية لساق الحشائش مباشرة تحت سطح التربة . وتنمو في الحشائش ٣- ٦ عقد بدون سلاميات من التاج والتي تغطي جنور عرضية متلاحقة تسمى بالجنور التاجية . وحيث ان البزوغ في الحشائش يكون باستطالة السامية الاولى او السويقة الجنينية الوسطى *mesocotyl* (شكل ١٠ - ٧) (في حالة الحنطة ، هي السامية الثانية) . فان التاج يقع بالقرب من سطح التربة بالرغم من اختلاف عمق البذور أثناء الزراعة .



شكل (١٠ - ٧) جنور نبات الفلحة الصفراء المزروعة على صق ٢٠ سم ، ١٥ و ١٠ سم . لقد تكون التاج تقريباً على نفس العمق بغض النظر عن صق الزراعة .

ويتوقف استطالة السويقة الجنينية الوسطى مباشرة من تحت سطح التربة بسبب آلية تنظيم الفايوكروم phytochrome الضوء الاحمر في الرويشة البازغة. وفي الذرة الصفراء تتكون الجذور العرضية الهوائية aerial roots من العقدة الرابعة او من عقد اعلى منها فوق سطح التربة بمسافة وتسمى عادة هذه الجذور الهوائية (او الدعامية) *prop* او *brace, root* roots .

وجد ان الجذور العقدية الاولى التي تظهر في الحشائش تكون رفيعة وذات انتحاء ارضي موجب قليلة (Brouwer 1966) . وتنمو الى الاسفل بزاوية حوالي ٣٥ درجة مع الافق وتتفرع بكثافة. وتتكون الجذور العقدية التي تنمو لاحقاً أكثر سمكاً وذات انتحاء ارضي اكبر وعادة تنمو بزاوية حوالي ٤٥ درجة مع الافق . وتكون جذور العقدة الاخيرة خشنة وتنمو بصورة عمودية . وقد تنتج هذه الجذور الهوائية الخشنة افرع رفيعة عند دخولها التربة وتقوم بوظيفة الامتصاص والتثبيت. واطهرت بعض الدراسة (Mosher and Miller 1972) بان اتجاه نمو الجذور في الذرة الصفراء يرتبط بدرجة عالية مع حرارة التربة المحيطة بالبذرة وكانت زاوية نمو الجذري ٣٠ درجة (من الافق) عند درجة حرارة ٨° م و ٦١ درجة عند درجة حرارة ٣٦° م .

يعتمد مدى سمك جذر الحشائش على ترتيب اهل السامية وفي حالة الجذور الجانبية على ترتيب التفرع . وتتكون من عقدة القصعة او العقدة الاولى جذور جنينية رفيعة جداً وتكون الجذور الفرعية المتكونة من العقدة اللاحقة أكثر سمكاً وقد يكون سمك الجذور الهوائية بمقدار عشرة مرات محيط دائرة الجذور الجنينية من جهة اخرى يكون ترتيب الافرع الجانبية اللاحقة من الجذر الرئيس معكوسة الترتيب من حيث الحجم وتصبح ارفع كلما ازداد ترتيب الفرع . وتكون الجذور الجانبية اطول اذا كان الجذر الرئيسي قصير والمكس صحيح .

مساهمة انظمة الجذور الجنينية والتاجية

ان السؤال حول مدة ومساهمة الجذور الجنينية للنظام الجذري الكلي لازال غير معروف الجواب . وبالرغم من الاعتقاد العام بأن الجذور الجنينية قصيرة الحياة ومساهمتها قليلة . الا ان بعض الدراسات اظهرت بأنها تبقى مدة طويلة وذات مساهمة كبيرة . ويعتبر كلا الرأيين صحيحين اعتماداً على النوع والبيئة . ولاحظ Pavlychenko (1937) في عدد من انواع حشائش الموسم البارد تحت الظروف البيئية في غرب كندا انه اضافة لكونها مهمة فهي النظام الجذري الرئيسي بسبب ان

الجنور التاجية لا تتكون في سنوات الجفاف . وقد اعزيت قدرة المنافسة المبكرة في الموسم الى تكوين الجنور الجينية . على سبيل المثال . احتواء نصف الشعير 'Hannachen' بعمر ٨٠ يوم على ٦.٦ جنر جنيني بالنبات مقارنة مع ثلاثة جنور في الشوفان البري و ٤.٦ للحنطة . وكان الشعير الأكثر منافس من بين الانواع الثلاثة . وحتى في الترب الموبوءة بالشوفان البري يمكن توقع محصول جيد نوعاً من الشعير ، والذي اعزاه Pavlychenko الى افضلية المنافسة المبكرة للشعير بسبب وجود عدد اكثر من الجنور الجينية واخيراً في موسم النمو وبعد ٨٠ يوم أصبح عدد الجنور التاجية ١١ للشعير و ١٣ للحنطة مقارنة مع ٧ للشوفان البري . وهو تحول في العدد وربما في القدرة على المنافسة . ولم يؤثر زرع النباتات على مسافات واسعة على عدد الجنور الجينية . الا ان الزراعة الضيقة ادت الى تقليل عدد الجنور الرئيسية والافرع الثانوية على الجنور التاجية بدرجة كبيرة وانخفض الطول الكلي لجنور النباتات المزروعة سراً على خطوط بدرجة كبيرة مقارنة مع النباتات المزروعة بصورة فردية بمسافات واسعة .

ولاحظ Boatwright and Ferguson (1967) ان تكوين الاشطاء وامتصاص الفسفور وحاصل البنور في الحنطة بوقت مبكر اكثر معنوياً اذا كانت النباتات تحوي على الجنور التاجية والجينية . حيث ان ازالة اي منهما يقلل قيم هذه الصفات . ومع ذلك فان حاصل الحبوب اكبر من النباتات ذات الجنور التاجية لوحدها مقارنة مع النباتات العاوية على جنور جنينية فقط . ان دور الجنور الجينية في حشيش التيموثي grass timothy المعمر قليل . حيث ان اداء النباتات العاوية على الجنور العرضية فقط مساوياً الى اداء النباتات العاوية على الجنور الجينية والجنور العرضية (Williams 1962) (جدول ١٠ - ٢) . وقد قيس قدرة امتصاص الجنور الجينية بأنها ٥٠ مرة اكثر من قدرة امتصاص الجنور العرضية لذا تتوقع بأن الجنور الجينية ذات اهمية وخاصة في مراحل النمو المبكرة .

ان اهمية الجنور الجينية للحنطة وبعض انواع الموسم البارد اكثر وضوحاً حيث تتكون جنور جنينية اكثر بسبب ظهورها من استقالة السلامة الثانية كما سبق ذكره .

وهناك اتفاق عام بان الذرة الصفراء تحت الظروف الحقلية تكون جنور جنينية قصيرة العمر وذات مساهمة قليلة نسبياً للمجموع الكلي للجنر بسبب ،

جدول (١٠ - ٢) انتاج المادة الجافة النسبي وكفاءة امتصاص العناصر للشطية في نبات التيموثي .

النظام الجفري %			
كلاهما	الجنور البدية	الجنور العرضية	
١٠٠	١٠٠	١٠٠	المادة الجافة
١٠٠	٥٠	١٠٠	النتروجين
١٠٠	١٠٠	١٠٠	الفسفور
١٠٠	١٠٠	١٠٠	البوتاسيوم
١٠٠	١٠٠	١٠٠	الكالسيوم

المصدر : Williams 1962 .

١ - ان السويقة الجينية الوسطى *mesocoryl* تضمحل بعد عدة اسابيع ازالة الجنور الجينية من النبات .

٢ - ان مدى وزن وحجم وطول الجنور العرضية كبير مقارنة بالجنور الجينية .

ورغم ذلك فان الجنور الجينية ضرورية للثرة الصفراء وخاصة لدعم النبات في المراحل المبكرة من النمو . هذا وان سمك او دقة الافرع الجينية وعددها يقوم بكفاءة عالية في الامتصاص الضروري في مراحل النمو المبكرة .

كفاءة الجنور Root Efficiency

بينما تعد الجنور القديمة حيوية للنبات، الا ان الامتصاص ينخفض بدرجة كبيرة بسبب (١) فقدان الشعيرات الجذرية (٢) ترسب عادة مركبات فينولية في الجنور القديمة ، (٣) تحتل الجنور القديمة مناطق مكتشفة من التربة .

ان السبب الاخير صحيح بالنسبة للعناصر الغذائية الا انه قد لا يكون صحيحاً بالنسبة للماء الذي يضاف باستمرار . وتتغلغل الجنور الجديدة سواء كانت رئيسية او جانبية الى مناطق جديدة من التربة غير محتلة من قبل المجموع الجذري وتكون شعيرات جذرية جديدة وباعداد كبيرة مكونة سطح امتصاص كبير . واطهرت

براعم تاج الجذور فعالية مثالية في المواعيد المتعاقبة . والذي يعتقد بأنه يسبب فقدان نفاذية الجذور بسبب العمر و / او معوقات بيئية (Brouwer 1966) .

ومن ناحية عدد وطول وكثافة (طول الجذر سم / سم² تربة) والمساحة السطحية للشعيرات الجذرية . ويبدو بأنها أكثر مكون فعال في النظام الجذري في امتصاص العناصر (Jungk and Barber 1975) . الا ان الشعيرات الجذرية تكون قليلة تحت الظروف الطبيعية عندما تصاب الجذور بالجذور الفطرية mycorrhiza .

حيث تزيد شبكة خيوط mycelia الجذور الفطرية فعالية سطح الجذر وامتصاص العناصر لذا فان فقدان الشعيرات الجذرية الفطرية قد يكون غير مهم .

وقد تتغلغل الجذور الى طبقات تربة رطبة غير مستغلة والتي عادة يكون محتواها منخفض من العناصر الغذائية . ومن جهة اخرى فان الجذور الجديدة قرب السطح تجد محتوى عالي من العناصر الا انها في منطقة محتواها الرطوبي منخفض . وحيث ان العناصر المعدنية وخاصة النتروجين والفسفور تتركز في طبقة الحراثة فان النبات الذي يروى على فترات لا يحتاج ان تتعمق جذوره كثيراً وبالحقيقة من الافضل استخدام نواتج التمثيل في تكوين الثمار ومنتجات الحصاد وتحت ظروف الري فان هذا عادة هو الحالة الطبيعية للتكوين .

العوامل المؤثرة على نمو وتوزيع الجذور

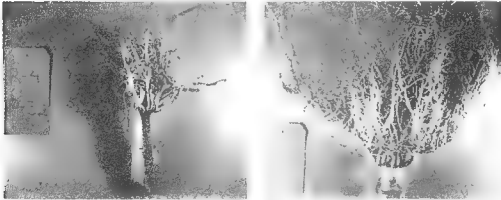
بالرغم من ان الاختلافات في طبيعة نمو الجذور وراثية الا انها ايضاً تتأثر كثيراً ببيئية التربة بشكل مباشر وغير مباشر . كما ان العوامل البيئية الموجودة فوق سطح التربة المؤثرة على نمو الساق وخاصة انتقال الكاربوهيدرات الى الجذور لها تأثير كبير على نمو الجذر كمعامل بيئة الجذور مثل الرطوبة ودرجة الحرارة ومستويات العناصر والمركبات السامة وضغط التربة والعوامل البيولوجية .

التركيب الوراثي GENOTYPE

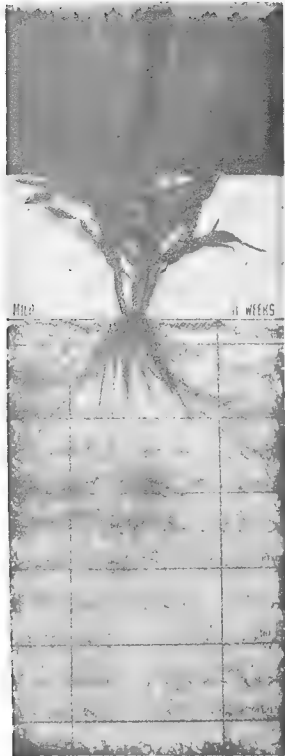
توجد اختلافات كبيرة في طبيعة نمو وتوزيع الجذور بين التراكيب الوراثية وهي ذات فرصة جيدة للتربية والانتخاب (MacKey 1980) . ويبدو بوضوح ان اغلب صفات الجذور تتوارث كمياً اي انها تنظم بعدد من الجينات ثم ان هذه

الاختلافات الوراثية تتداخل مع بيئة التربة . وقد تم ملاحظة اختلافات كبيرة ذات توريث عالي في نسبة الجذور الجانبية الى الجذور الرئيسية لسلالات الذرة الصفراء النقية (شكل ١٠ - ٨) وان جذور الذرة البيضاء ذات تعمق اكثر مع تفرعات ثانوية اكثر (Weaver 1926) (شكل ١٠ - ٩) . يحوى صف فول الصويا 'Harosoy' على نظام جذري كثيف وضعف الجذور السطحية الموجود في الصنف (1970 'Aoda' Raper and Barber) يختلف عمق توزيع الجذور كثيراً بين انواع المحاصيل العلفية . ان كتلة الجذور في حشيش البستين (orchard grass) في ال ١٠ سم العلوية من سطح التربة اقل بمقدار ٢٠ - ٣٠ ٪ ونسبة اعلى من كتلة الجذور في الجزء السفلي من التربة مقارنة مع الحشيش الازرق (blue grass) وحشيش الشليم المعمر (Troughton 1956)

ان اليات التنظيم الوراثي للجذور معقدة ولكنها كما في الساق فان منظمات النمو لها دور مهم . حيث تشجع الاوكسينات (IAA) نمو الجذور في التراكيز المنخفضة فقط (Vandia and Itra 1969) ان الحاجة الى الاوكسين واضحة بعامل الورقة الى بعض انسجة الورقة وبراعم فعالة وذلك لانتاج مركب او مركبات مشجعة للنمو لها القدرة على الانتشار الى مناطق اخرى في النبات . ويؤدي عمل حلقات Girdling في اجزاء الساق الى ايقاف تأثير عامل الورقة (Hess 169) .



شكل (١٠ - ٨) أنظمة جنور سلالتين من الذرة الصفراء توضح الاختلافات الوراثية الكبيرة في أنظمة الجنود بين النوع .



شكل (٩ - ١٠) طبيعة نمو جذور النرة البيضاء المحبوبة .

وقد تم عزل وتشخيص عامل مساعد لنمو الجنور وهو catechol و pyrogallol وتعمل هذه المركبات بالتعاون مع ١٨٨ لتشجيع نمو الجنور. يؤدي الايثيلين المنتج خلال الانبات في بعض الانواع الى ايقاف نمو الجنور (Nakayama and Shirmura 1973) كما ان السايوكينينات تثبط نمو الجنور (Hess 1969; Vaadia and Itia 1969). وتكون جنور النباتات المعرضة للشد ذات محتوى قليل من السايوكاينينات الذي يوضح بأن انخفاض محتوى السايوكاينين وانخفاض تجهيزه للاوراق قد يساهم بشيخوخة وجفاف الاوراق المعرضة للشد. ويعمل الاوكسين والجبرلين والسايوكاينين اما بصورة مستقلة او بالتعاون مع بعضها لتنظيم نمو الجنور في الفجل (Torrey and Loomis 1967). ويبدو بوضوح بأن هورمونات النمو تحوى على الناقل او الرسل الكيمياوي "chemical messenger" الذي يعطي السلوك الوراثي للنبات.

التنافس بين النباتات PLANT COMPETITION

ان ميزة تنافس الشمر للشوفان البري يعود جزئياً على الأقل، الى العدد الكبير او كثافة الجنور الجنينية seminal root كما سبق توضيحه عند زراعة صف الحنطة 'Marquis' على خطوط سرباً انخفاض عدد للجنور التاجية بدرجة كبيرة. من ٧٣ الى ١٢ مقارنة مع النباتات المزروعة على مسافات اوسع. كما انخفاض طول الجنر الكلي من ٧٠٠٠ - ٩٠٠ متر بالنبات (Pavlychenko 1937). هذا وان التنافس الناتج من الزراعة على مسافات ضيقة له تأثير قليل على الجنور الجنينة.

ادى زيادة الكثافة النباتية للذرة الصفراء من ١٢.٠٠٠ - ٦٢.٠٠٠ نبات / هكتار الى تقليل الوزن الجاف للجنر بمقدار ٧٢ % (Norden 1964). الا ان الوزن الكلي للنبات بالهكتار قد ازداد بزيادة الكثافة النباتية الى حوالي ٥٠.٠٠٠ نبات / هكتار.

ويبدو ان قدرة تنافس العديد من الانواع يعود الى افراز مواد سامة او مركبات مثبطة بواسطة الجنور وهي ظاهرة تسمى allelopathy (Rice 1974) وتعتبر نباتات الفيسكو الطويل tall fescue و ذات النمو الغزير والكثيف مقاومة عملياً للتغلب على الادغال والتي قد اعزيت الى كثافة الجنور المسببة الى تنافس جيد للجنور. وقد يكون تنافس الجنور عامل مؤثر مهم. لكن حديثاً تم توضيح بأن جنور الفيسكو الطويل تفرز مركبات كيمياوية allelopathic

(Wheeler and Young 1978) . وهكذا فإن جذور نباتات الفيسكو الطويل
تفرز مركبات الـ (allelopathic) لتنافس الانواع الاخرى وليس نبات الفيسكو نفسه.
مؤدياً الى تكوين كثافة نمو كبيرة من جذوره وبنفس الوقت يعيق او يوقف نمو
النباتات الاخرى المنافسة .

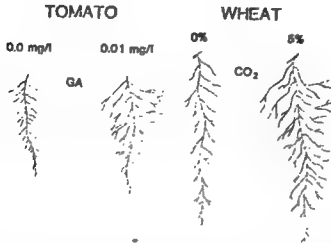
الحش أو القلع DEFOLIATION

ان القول القديم (قطع السيقان هو قطع الجذور) قولاً صحيحاً . حيث ان
الجذور تعتمد على السيقان في الحصول على نواتج التمثيل . ادى قطع الجزء العلوي
لنباتات الحشيش السوداني على فترات متعددة على ارتفاع ١٠ سم الى تقليل وزن الجذور
بمقدار ٨٥ % . يؤدي قطع الجذور ايضاً الى تقليل نمو الجذور والجزء العلوي
للنبات . فقد ادى الحش المتكرر على فترات الى تقليل وزن الجذور معنوياً لحشيش
(Wright 1962) *blue panicgrass* . ويختلف تأثير الحش بين الانواع وهو ذو علاقة
بكمية المساحة الورقية للتمثيل الضوئي المتبقية بعد الحش. والتي قد تحافظ على دليل
مساحة ورقية حرجة (اعتراض ٩٥ % من الضوء) . فمثلاً يمكن إجراء حش مستمر
وعلى مستوى منخفض من سطح الارض للأنواع ذات النمو المنخفض *low-growing*
مثل حشيش بنتا الزاحف *creeping bentgrass* .

وتتصف معظم الأنواع المعمرة في قدرتها على إستعادة نمو الجذور . أي الموت
الرجعي الموسمي للجذور ومن ثم استعادة نمو جزءاً من النظام الجذري عند حدوث
اضرار الانجماد للسيقان والاوراق في الخريف تبقى منطقة الجذر دافئة وتجهز الغذاء
للتنفس وبالتالي يستنفذ الغذاء المخزون ويحصل الموت الرجعي للجذور . ان الموت
الرجعي الدوري الموسمي للجذور يفسر جيداً المحتوى العالي للمادة العضوية (الدبال
humus) في المروج ذات الحشائش الطويلة . حيث تموت اجزاء النبات العلوية
لأنواع النامية في هذه الانظمة البيئية بالانجماد وتكون الجذور ذات محتوى غناثي
مخزون قليل اما انواع الموسم البارد مثل حشيش البساتين فإنه قليل التعرض للموت
الرجعي واستعادة النمو (Sprague 1933) ويبدو انه لا يكون محتوى عالي في
المادة العضوية (الدبال) بسرعة في التربة .

جو التربة SOIL ATMOSPHERE

ان جو الجنور لا يشابه عادة جو السيقان حيث تختلف مستويات الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون عن الهواء الخارجي وان كلاهما يؤثر بصورة مباشرة على نمو الجنور (شكل ١٠ - ١٠). وعادة يتغير تأثير اي منهما بوجود الاخر (Geisler 1967) هذا وان غاز النتروجين غير فعال وليس له تأثير معروف سابقاً.



شكل (١٠ - ١٠) تأثير الجبرلين وثنائي اوكسيد الكربون على نمو جنور الطماطة والحنطة

(Street 1959, Brewster 1966)

يعد الاوكسجين ضروري للعمليات الايضية التي تشمل على الامتصاص الحيوي والانتقال الحيوي في فول الصويا. لقد كانت متطلبات الاوكسجين وامتصاص العناصر اكثر في مراحل النمو الخضري من مراحل النمو التكاثري (et al. 1978 Jones). وادى زيادة الاوكسجين الى زيادة امتصاص الماء بجنور نباتات الشعير (Lacey et al. 1965). وهذا يوضح ان امتصاص الماء عملية حيوية او ان الجنور الاضافية قد تحفزت بالاوكسجين. وتستطيع بعض الانواع مثل الرز امتصاص كمية كافية من الاوكسجين خلال الاوراق ونقله الى الجنور خلال خلايا هوائية *aerenchyma*. لذا فان الاوكسجين ليس دائماً مطلوب في منطقة بيئة

الجنور . لقد لوحظ بأن النرة الصفراء تملك هذه القابلية أيضاً (Jensen et al. 1964) . ولكن ليس بصورة كافية للنمو الطبيعي لفترة غمر طويلة . ان لوجود الاوكسجين في منطقة الجنور تأثير غير مباشر. مثل تحفيز فعالية الاحياء المجهرية والتي بدورها تؤثر على ميسورية. العناصر للجنور . ويعتبر بعض ثاني اوكسيد الكربون مفيد لنمو الجنور (شكل ١٠ - ١١) .

يحفز تركيز ثاني اوكسيد الكربون المساوي الى ٢ ٪ او المعادل ١٠ مرات اكثر من تركيزه في الهواء الجوي نمو الجنور في نباتات الشعير والبراليا . الا ان زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون الى ٨ ٪ ادى الى توقف النمو الطولي للجنور (Geister 1967) .

يعتمد تأثير ثاني اوكسيد الكربون على الضغط الجزئي للاوكسجين في جو الجنور . وبصورة عامة ان مستوى اوكسجين يعادل ١ / ٣ تركيزه في الهواء الطبيعي ٢١ ٪ اوكسجين كافي للنمو مالم يكن تركيز ثاني اوكسيد الكربون عالي جداً .

حموضة التربة SOIL pH

لحموضة التربة خارج المدى ٥ - ٨ تأثير مباشر في اعاقه نمو الجنور وضمن هذا المدى كما يحدث في معظم الظروف الحقلية فان التأثير عادة يكون غير مباشر . ويؤدي pH التربة الاقل من ٦ الى زيادة ذوبان الالمنيوم والمنغنيز والحديد والتي قد تكون سامة ومحددة لنمو الجنور . لقد نجح مربوا النبات في انتخاب سلالات مقاومة للالمنيوم في عدد من المحاصيل (شكل ١٠ - ١١) . حيث تتحمل السلالات المقاومة للالمنيوم الـ pH العالي في منطقة الجنور المباشرة . وتختلف الانواع والاصناف في قدرتها على اثاره او تغير الـ pH في بيئة الجنور المباشرة أو القريبة (Olsen et. al. 1981).

درجة الحرارة TEMPERATURE

بصورة عامة تكون درجة الحرارة المثالية لنمو الجنور اقل من تلك للسيقان (Brouwer 1966) . وهي متماثلة مع النمو الطبيعي . ففي الربيع تكون درجات حرارة الجنور تحت النباتات اقل من درجات حرارة الاجزاء العلوية للنباتات وتختلف درجة الحرارة المثالية كثيراً بين الانواع وادى زيادة درجة الحرارة في الجنور باستخدام انايبس يمر فيها ماء حار الى تحسين نمو حشائش الموسم



شكل (١٠-١١) يبين الاختلاف في تحمل سلالتين للمنطقة لعنصر الألمنيوم.

الحار مثل الحشيش السوداني أكثر من حشائش الموسم البارد مثل الفيسكو الطويل (Rykboost et al. 1975) . وقد أثرت درجة الحرارة على نمو الجذور أكثر من تأثيرها على نمو السيقان (Aldous and Kaufman 1979) وكان ارتباط اتجاه النمو عالياً بدرجة الحرارة كما ذكر مسبقاً .

خصوبة التربة SOIL FERTILITY

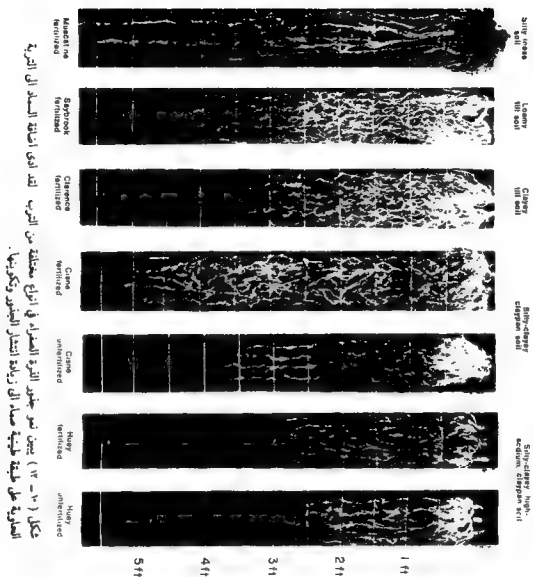
تحتاج الجذور الى كمية كافية من العناصر الغذائية لنموها وتكوينها كحاجة الاعضاء النباتية الاخرى لها . وبسبب ان الجذور تكون اقرب الى المصدر من السيقان فلها الفرصة الاولى في الحصول على العناصر الغذائية والماء . الا انها اخر من يحصل

على نواتج التمثيل المتكونة في السيقان . ولهذا السبب فان نقص الماء او العناصر الغذائية يؤثر عادة على الجنور بدرجة اقل من تأثيرها على الجزء العلوي للنبات (انخفاض نسبة الساق الى الجذر) مالم يكن العنصر القليل يتعارض مباشرة مع التمثيل الضوئي (مثل نقص الحديد الذي يقلل الكلوروفيل) . ويؤدي نقص الضوء الى التعارض مباشرة مع التمثيل الضوئي وبذلك تكون الافضلية للسيقان (زيادة نسبة السيقان الى الجنور)

وبصورة عامة يحسن التسميد القدرة الوراثية للجنور (شكل ١٠ - ١٣) . وتحاول جذور الذرة الصفراء الانتشار والتغلغل في المناطق الحاوية على المادة العضوية والسماد (مثل وضع السماد على شكل حزام band) (Duncan and Ohlrogge 1958) وخاصة اذا كان الحزام حاوي على النتروجين والفسفور . وقد اقترح (1966) Brouwer بان تحديد العامل هو ليس وجود عناصر السماد في بيئة الجنور فقط ولكن هي حالة العناصر الكلية للنبات . وقد تعمقت جذور الذرة الصفراء المسددة الى مسافة ١,٧ متر في تربة Muscatine مقارنة مع ١,٤ متر للنباتات غير المسددة (Fehrenbacher et al, 1969) (شكل ١٠ - ١٣) .

وقد تصاب الجذور التي تلامس حزام السماد باضرار وتشوه وتكون اقصر من جذور النباتات غير الملامسة له (Isensee et al, 1966) ويتضح بان الجنور الجنينية وتفرعات الترتيب الاول تشوه او تموت بحزام السماد او بمركبات كيميائية اخرى اذ تواجدت بتركيز كافية لانها تكون سامة . الا ان تفرعات الجنور من الترتيب الاعلى قد تنتشر وتغلغل اكثر وذلك بانخفاض تركيز السماد بمرور الوقت .

يشجع مستوى النتروجين النمو العلوي مقارنة مع نمو الجنور . اي زيادة نسبة نسبة نمو السيقان الى الجنور (انظر الفصل الثامن) . لذا فان مستويات النتروجين العالية قد تشجع النمو العلوي ولا تستهلك الكربوهيدرات المتوفرة . وبسبب زيادة النمو العلوي تظليل اكثر للاوراق السفلية والذي بدوره يزيد من تقاوم الحالة . علاوة على ذلك فان تجهيز كميات كبيرة من النتروجين تؤدي الى زيادة مستويات الاوكسين (Wilkinson and Ohlrogge 1962) والتي قد تثبط نمو الجنور . ومع ذلك فان السماد النتروجيني يزيد الوزن الجاف الكلي للجذور .



شكل (١٠ - ١١) عينات من جدران البئر الصخرية في أنواع مختلفة من التربة. لقد أدى إضافة السطو إلى التربة الملوثة على طبقة طينية مهاد إلى زيادة انتشار البعوض وكثيرها.

وتنتج عادة محاصيل الحبوب التي تحوي على مستوى عالمي من النتروجين بوقت مبكر النمو ثم ينخفض تركيزه بتقدم موسم النمو مساحة ورقية كبيرة في بداية موسم النمو ويتم انتقال نواتج تمثيل أكثر إلى الجذور في نهاية الموسم . لوحظ بأن نباتات النرة الصفراء المسمدة بالنتروجين تكون نظاماً جذرياً كبيراً وتستهلك ماء أكثر في ظروف الجفاف . ويبدو أن التسميد بالنتروجين يشجع تعمق ونمو غزير للجذور بوقت مبكر في موسم النمو وربما يكون ذلك بسبب زيادة المساحة الورقية وانتقال نواتج التمثيل بكميات أكثر لنمو الجذور .

تكون النباتات المسمدة بالفسفور جذوراً أكثر من النباتات غير المسمدة ، ومن المحتمل أن تكون هذا تأثير غير مباشر . حيث أن السماد الفوسفاتي يزيد أولاً التمثيل الضوئي والذي بدوره يزيد من نمو الجذور . ويحوي مستخلص جذور النباتات المسمدة بالفسفور على فعالية أوكسين أقل ونظرياً يقوم بتثبيط أقل من مستخلص الجذور من نباتات مسمدة بالنتروجين (Wilkinson and Onirogge 1962) . ومع ذلك فإن الفسفور يسبب تأثير مباشر في انتشار وتغلغل الشعيرات الجذرية ولكن ليس من الضروري وجود الفسفور في منطقة النمو لتوفير نمو طبيعي للجذور (Pearson 1966) ، وهذا يؤكد بأن الفسفور في الترب التحتية ليس له فوائد في تشجيع تعمق الجذور على الفسفور الموجود في الطبقات السطحية من التربة .

اجريت دراسات عديدة لتقييم افضل نسبة للنتروجين - والفسفور N-P ratio في مخاليط التسميد وخاصة المستويات المضافة أثناء الزراعة .

وقد وجد بأن نسبة ١ : ٥ نتروجين إلى فسفور في حزام السماد بأنها مثالية لنمو وتكوين جذور النرة الصفراء (Duncan and Ohlrogge 1958)

ويبدو أن البوتاسيوم (K) ليس له تأثير مباشر على استطالة وتفرع الجذور . وقد يسبب قلة البوتاسيوم ضعف نظام النقل وترتيب غير جيد للخلايا وقد نفاذية الخلايا . وبصورة عامة فإن تأثير البوتاسيوم والاسمدة الأخرى أساساً غير مباشر وتؤدي إلى زيادة نمو الجذور فقط بعد زيادة النمو العلوي للنبات .

كان العالم Weaver (1926) مهتماً بدراسة فوائد التسميد العميق في تحفيز نمو الجذور . وقد أعطت نتائج التجارب منذ ذلك الوقت نتائج سلبية وموجبة . ومع ذلك تجارب التسميد العميق اجريت عادة مع الحراثة العميقة ولم يتم فصل تأثير احدهما عن الآخر .

الماء

يعد الماء ضروري لنمو الجذور بدلالة حقيقة ان الجذور لا تستطيع النمو خلال طبقات التربة الجافة . الا ان الجذور تملك ما يسمى آلية تنظيم جهد الماء حيث تتراكم المذيبات في القمة وترفع ضغط الانتفاخ *turgor pressure* والذي بدوره يحافظ على النمو لوقت غير محدود (Sharp and Davis 1979) لقد قلل جهد ماء التربة ووزن جذور حشيش *blue panicgrass* معنوياً (1962 Wright) وقل طول جذور فول الصويا معنوياً بجهد ماء اقل من - ٢ بار او ١٦ % (Sivakumar et al. 1977) .

ويؤدي نقص رطوبة التربة الى تحويل نمط الجذور فقد وجد بان نسبة قليلة من مجموع الجذور في الطبقة السطحية (صفر - ١٥ سم) ونسبة اعلى في الطبقات العميقة (Mayaki et al. 1976) ويؤدي الري الى عكس هذا الاتجاه .

جدول (١٠ - ٢) تقدير كثافة الجذور لصنف التبغ 'Havana' في تربة Martimec الرملية الغرينية وعلاقتها بالضغط .

عدد الـ Cores	الملاحظ فيها	٢	٣
كثافة التربة	بعض الجذور	جنور قليلة أو غير موجودة	جنور عديدة
الظاهرة			
(غم / سم ٣)			
أقل من ١,٤٠	٣٠	٢	صفر
١,٤١ - ١,٤٤	٣	٤	٣
١,٤٥ - ١,٤٨	٢	٦	٣
١,٤٩ - ١,٥٢	٤	٧	١
١,٥٣ - ١,٥٦	١	٢	١
١,٥٧ - ١,٦٠	صفر	صفر	٥
أكثر من ١,٦٠	صفر	صفر	١١

المصدر ، De Roo 1969 .

ملاحظة ، البيانات مأخوذة من ٨٩ core جمعت خلال ثلاث سنوات عند الحصاد

التوى الآلية والفيزيائية Mechanical and Physical Forces

يواجه نمو الجنور مقاومة آلية (ميكانيكية) من عدد من الحالات . مثل حجم الجزيئات وفقدان تجمع جزيئات التربة وقوة التربة وضغطها . يؤدي نقص المسامية لزيادة الكثافة الظاهرية الى نقص نمو الجنور (شكل ١٠ - ١٢) .

وكان تعمق وانتشار الجنور اكثر في التربة غير المثارة والمفككة من التربة ذات المحتوى العالي من الطين والكثافة الظاهرية العالية (Davis and Runge 1969)

ان نمو الجنور لايتقيد بدخولها الى الفراغات . ومع ذلك فاز: قوة التربة تؤثر على دخولها الى فراغات التربة . وادت كثافة التربة الظاهرية العالية في التربة الغرينية الرملية المضغوطة الى تقليل نمو الجنور في التبغ بدرجة كبيرة (جدول ١٠ - ٣) . ولوحظ بان جذور الذرة الصفراء قد تعمقت الى حوالي ٢ متر في تربة (glacial till) ذات النسجة الخشنة بينما نادراً ماتتعمق الى عمق متر واحد في تربة متوسطة النسجة (Pearson 1966) وادى تقليل الكثافة الظاهرية في تربة متوسطة النسجة من ١.٦٥ الى ١.٩٦ غم / سم^٣ الى تقليل نمو جذور فول الصويا علاوة على تغير تشريح الجنور بزيادة سمك جدران الخلايا وشريط كاسبر (casparian trip) وتشوية وشلل القناة او الاسطوانة الداخلية (1975 Baligam et. al.) . ان مثل هذا التشوية التشريحي يشير الى اضعاف الامتصاص . وكانت كثافة جنور الذرة الصفراء والقطن مرتبطة بقوة التربة وكانت العلاقة بين كثافة الجنور وامتصاص رطوبة التربة علاقة خطية (Grimes et. al. 1975) . يسبب سير الآلات الزراعية بين خطوط الزراعة الى ضغط التربة وتقليل جاهزية الماء (Nelson et.al. 1975) . حيث يؤدي سير الآلات الزراعية الاولى الى حصول اعلى نسبة من ضغط التربة . وسواء كان التربة يقلل نمو الجنور وامتصاص الماء بالمقاومة الآلية (الميكانيكية) او تقليل نمو الجنور بسبب تقليل جاهزية الاوكسجين او تقليل امتصاص الماء الحيوي بسبب تقليل الاوكسجين وزال غير واضحاً . وقد اعزى بعض الباحثين تحديد نمو الجنور في التربة المضغوطة الى المقاومة الآلية (Phillips and Kirkham 1962) .

وقد ذكر باحثون آخرون بان قلة الاوكسجين اضافة الى المقاومة الآلية تسبب اعاقا نمو الجنور (Richman et.al. 1966) . وبينما يؤثر كلا العاملين بشكل مباشر او غير مباشر . يبدو ان تحديد جاهزية الاوكسجين اكثر اهمية في مدى واسع من الظروف (Bertrand and, Kohnke 1957) . وتبقى الحقيقة

بان قلة المساحية او الكثافة الظاهرية العالية بسبب ضغط التربة تسبب اعاقه نمو الجذور ووظيفتها . وقد اجريت دراسات عديدة لطرق تكسير او ازالة التربة المضغوطة او الطبقة الصلبة او الصحن الصلب الا ان النتائج كانت متفايرة والفائدة عادة لفترة قصيرة فقط .

الخلاصة

يعد النمو الغزير والقوي للجنور ضرورياً عادة لنباتات المحاصيل لانتاج حاصلات عالية. تقوم الجنور بوظيفة امتصاص الماء والعناصر الغذائية وتثبيت النبات والنقل والغزن والتكاثر ومصدراً لهورمونات النمو. وينظم نمو الجنور وراثياً وتختلف كثيراً بين الانواع المختلفة. كما تؤثر عليها العوامل البيئية.

ان حفر التربة لدراسة الجنور يكون عادة غير بناء ومجهد لنا فان ابحاث دراسة الجنور محدود اكثر من تلك التي تجري على اجزاء النبات الهوائية العلوية وقد طورت طرق ملائمة لدراسة صفات ونمو الجنور الا ان لكل منها معوقات خاصة بها.

يتكون النظام الجنري في ذات الفلقتين من تطور ترتيب التفرعات ابتداء من الجنر الرئيسي ويتكون النظام الجنري لذات الفلقة الواحدة من حالتين (١) الجنور الجينية او جذور البذرة والذي قد يكون مرحلي او وقتي. (٢) الجنور المريضة او العقدية nodal. والجنور التاجية التي تنشاء من عقد على التاج وتشكل المكونات الاساسية للنظام الجنري وتتكون الفروع في كلا النوعين من واحد الى عدة ترتيبات والجنور التاجية تتكون من عقد الساق (التاج crown) التي تقع مباشرة تحت او قرب سطح التربة. وعادة تكون جنور ذات الفلقة الواحدة رفيعة ووظيفتها قليلة في خزن الغذاء.

تنشاء الافرع الجانبية في جنور ذات الفلقتين والفلقة الواحدة من مرستيمات الدائرة المحيطة pericycle. وتختلف طبيعة نمو الانتحاء الارضي للجنور باختلاف الانواع وترتيب الافرع وعمر النبات. ويكون اتجاه الافرع الجانبية اكثر افقياً وانتحاء ارضي موجب اقل من الجنر الرئيسي الا انه بالامكان تعفيز الاستجابة للانتحاء الارضي لحد ما بدرجة حرارة التربة. ويكون الامتصاص مقتصر على الجنور الحديثة وخاصة امتصاص العناصر ويحصل اساساً في منطقة الشعيرات الجنرية. وتفقد الجنور القديمة شعيراتها الجنرية وتصبح مغلفة بمركبات فينولية او فليينية ..

وتؤثر عوامل التربة مثل الكثافة الظاهرية والماء والاكسجين والعناصر الغذائية والـ PH ودرجة الحرارة والمواد السامة كثيراً على نمو الجنور. كما ان نمو الجزء العلوي للنبات وجاهزية نواتج التمثيل ضرورية ايضاً. ان ضغط التربة والعوامل المؤدية الى زيادة الكثافة الظاهرية يزيد من اعاقه نمو الجنور ويقلل الاوكسجين

أو نسبة الاوكسجين الى ثاني اوكسيد الكربون والتي تؤثر على نمو الجذور بدرجة كبيرة ويؤدي التنافس على المكان (الضوء) والحش الى تقليل نواتج التمثيل المتيرة لنمو الجذور .

References

- Aldous, D. E., and J. E. Kaufmann. 1979. *Agron. J.* 71:545-47.
- Baligar, V. E., V. E. Nash, M. L. Hare, and J. A. Price, Jr. 1975. *Agron. J.* 67:842-44.
- Barber, S. A. 1978. *Agron. J.* 70:457-61.
- Barley, K. P. 1970. In *Advances in Agronomy*, vol. 22, ed. N. C. Brady. New York and London: Academic Press.
- Bertrand, A. R., and H. Kohnke. 1957. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21:135-40.
- Boatwright, G. O., and H. Ferguson. 1967. *Agron. J.* 59:299-302.
- Bohm, W., H. Maduakor, and H. M. Taylor. 1977. *Agron. J.* 69:415-19.
- Brouwer, R. 1966. In *The Growth of Cereals and Grasses*, ed. J. D. Ivins and F. L. Milthorpe. London: Butterworth.
- Clowes, F. A. L. 1969. In *Root Growth*, ed. W. J. Whittington. London: Butterworth.
- _____. 1978. *Ann. Bot. n.s.* 42:801-6.
- Cormack, R. G. H. 1962. *Bot. Rev.* 28:446-64.
- Davis, R. B., and E. C. A. Runge. 1969. *Agron. J.* 61:518-21.
- De Roo, H. C. 1969. In *Root Growth*, ed. W. J. Whittington. London: Butterworth.
- Duncan, W. G., and A. J. Ohlrogge. 1958. *Agron. J.* 50:605-8.
- Fehrenbacher, J. B., B. W. Ray, and J. D. Alexander. 1969. *Crops Soils* 21:14-18.
- Geisler, G. 1967. *Plant Physiol.* 42:305-7.
- Grimes, D. W., R. J. Miller, and P. L. Wiley. 1975. *Agron. J.* 67:519-23.
- Hess, C. E. 1969. In *Root Growth*, ed. W. J. Whittington. London: Butterworth.
- Iseensee, A. R., K. C. Berger, and B. E. Struckmeyer. 1966. *Agron. J.* 58:94-97.
- Jensen, C. R., J. Letey, and L. H. Stolzy. 1964. *Science* 144:550-52.
- Jones, C. A., A. Reeves III, J. D. Scott, and D. A. Brown. 1978. *Agron. J.* 70:751-55.
- Jungk, A., and S. A. Barber. 1975. *Plant Soil* 42:227-39.
- Kaspar, T. C., C. D. Stanley, and H. M. Taylor. 1978. *Agron. J.* 70:1105-7.
- Kittock, D. L., and J. K. Patterson. 1959. *Agron. J.* 51:512.
- Kutschera, L. 1960. *Wurzelatlas Mitteleuropäischer und Ackerunkrauter und Kulturpflanzen*. Frankfurt: DLG-Verlags-GmbH.
- Letey, J., W. F. Richardson, and N. Valoras. 1965. *Agron. J.* 57:629-31.
- McElgunn, J. D., and C. M. Harrison. 1969. *Agron. J.* 61:79-81.
- MacKey, J. 1980. In *Plant Roots: A Compilation of Ten Seminars*. Iowa State University, Ames, unpublished.
- Mayaki, W. C., I. D. Teare, and L. R. Stone. 1976. *Crop Sci.* 16:92-94.
- McMichell, B. L. 1983. Personal communication.
- Milthorpe, F. L., and J. Moorby. 1974. *An Introduction to Crop Physiology*. London: Cambridge University Press.
- Mitchell, R. L., and W. J. Russell. 1971. *Agron. J.* 63:313-16.
- Mosher, P. N., and M. H. Miller. 1972. *Agron. J.* 64:459-62.
- Nakayama, M. K., and Y. O. Shirmura. 1973. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 42:493.
- Nelson, W. E., G. S. Rahi, and L. Z. Reeves. 1975. *Agron. J.* 67:769-72.
- Newman, E. I. 1966. *J. Appl. Ecol.* 3:139-45.
- Norden, A. J. 1964. *Agron. J.* 56:269-73.
- Olsen, R. A., R. R. Clark, and J. J. Bennett. 1981. *Am. Sci.* 69:378-84.
- Pavlychenko, T. K. 1937. *Ecology* 18:62-79.
- Pearson, R. W. 1966. In *Plant Environment and Efficient Water Use*, ed. W. H. Pierre et al. Madison, Wis.: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Phillips, R. E., and D. Kirkham. 1962. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:319-22.
- Raper, C. D., Jr., and S. A. Barber. 1970. *Agron. J.* 62:581-84.
- Rice, E. L. 1974. *Allelopathy*. New York: Academic Press.
- Rickman, R. W., J. Letey, and L. H. Stolzy. 1966. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:304-7.
- Rykbost, K. A., L. Boersma, H. J. Mack, and W. E. Schmisseeur. 1975. *Agron. J.* 67:733-38.

- Sharp, R. E., and W. J. Davis. 1979. *Planta* 147:43-49.
- Sivakumar, M. V. K., H. M. Taylor, and R. H. Shaw. 1977. *Agron. J.* 69:470-73.
- Sprague, H. B. 1933. *Soil Sci.* 36:189-209.
- Stone, L. R., I. D. Teare, C. D. Nickell, and W. C. Mayaki. 1976. *Agron. J.* 68:677-80.
- Street, H. E. 1959. In *Root Growth*, ed. W. J. Whittington. London: Butterworth.
- Taylor, H. M., and H. R. Gardner. 1963. *Soil Sci.* 96:153-56.
- Torrey, J. G., and R. S. Loomis. 1967. *Am. J. Bot.* 54:1098-1106.
- Travis, R. L., S. Geng, and R. L. Berkowitz. 1979. *Plant Physiol.* 63:1187-90.
- Troughton, A. 1956. *J. Br. Grassl. Soc.* 11:56-65.
- Vaadia, Y., and C. Itia. 1969. In *Root Growth*, ed. W. J. Whittington. London: Butterworth.
- Ward, K. J., B. Klepper, R. W. Rickman, and R. R. Allmaras. 1978. *Agron. J.* 70:675-77.
- Weaver, J. E. 1926. *Root Development of Field Crops*. New York: McGraw-Hill.
- Westmore, R. H., and T. A. Steeves. 1971. In *Plant Physiology: A Treatise*, ed. F. C. Steward. New York and London: Academic Press.
- Wheeler, G. L., and J. F. Young. 1978. *Ark. Farm Res.*, p. 6.
- Wilkinson, S. R., and A. J. Ohlrogge. 1962. *Agron. J.* 54:288-91.
- Williams, D. 1962. *Ann. Bot. n.s.* 26:129-36.
- Wright, N. 1962. *Agron. J.* 54:200-202.

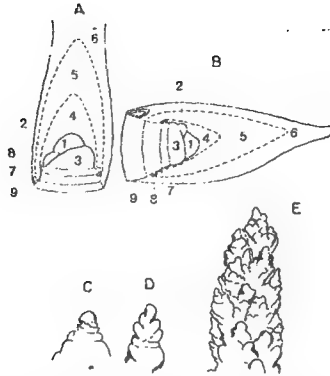
النمو الخضري

Vegetative Growth

تعد الاوراق المحمولة على السيقان والافرع مصانع الكاربوهيدرات في نباتات المحاصيل . وهي ضرورية لاعتراض وتحويل الطاقة الضوئية بعملية التمثيل الضوئي للنمو والحاصل . والاوراق ايضاً مصدرًا للنيتروجين للثمار وهي تحركه وتعيد توزيعه الى الثمار .

ان اصل الاعضاء الخضرية (تشمل البراعم والاوراق والسيقان) من براعم السيقان القمية والجانبية ويبدأ مع محور الجنين في البذرة . وتقع البراعم الجانبية او الابطية في اباط الاوراق . ويمكن ان ينشأ نمو جديد من براعم عرضية adventitious buds التي قد تتكون من كامبيوم الساق او الدائرة المحيطة pericycle في الجنور .

وبغض النظر عن النوع والاصل فان البراعم متشابهة من الناحية الشكلية (المورفولوجية والوظيفية) (شكل ١١ - ١) . ويمكن اعتبارها سلسلة من وحدات تركيبية تختلف في درجة تركيبها من القاعدة الى القمة . (acropetally) . وكل له تحت الوحدات التركيبية الفايتومر *phytomer* ، وهو نبات القياس (النبات القياسي) يتكون من ثلاثة أجزاء هي : (١) عقدة الساق والسلامية . (٢) الورقة (٣) البرعم الابطي . وفي بعض الانواع تحوى الفايتومترات *phytomers* الناضجة على منشأ الجنور . وتتكون الفايتومر من القاعدة الى القمة وبصورة غير محددة . الا ان نشوء الاعضاء الزهرية يُوقف نمو الوحدات التركيبية الخضرية . وكما شرح مسبقاً ، تتحور المكونات الخضرية وتصبح جزءاً من النورة الزهرية . وفي الحشائش المعتدلة يعتبر نشوء التزهير ايضاً إشارة الى ابتداء استطالة الساق (السلامية) الذي يعتمد للإوراق عن بعضها ويرفع ويعرض النورة الزهرية الى الطاقة الشمسية - البيئة الفنية على ارتفاع معين فوق سطح الاوراق .



شكل (١-١١) برام خضرية وزهرية نموذجية لنبات نجلي (حشائش).
 A. - برعم ساق هوائي أو قمة شطي. B. - قمة برعم ساق ارضي أو فرع ساق ارضي. C. - قمة
 الساق الخضري لنبات الشوفان. D. - بداية تكوين النورة الزهرية للشوفان في مرحلة سنة اوراق E و A في
 تراكيب شكلية متعاقبة. (١) قمة منطقة النمو (٢.٢) منشآت الاوراق. (٣ و ٤) اوراق حديثة متوسعة في
 الساق الهوائي أو الارضي (٦) ضد ورقة ناضجة أو اوراق الساق الرئيسي. (٧) عقد وسلامية غير متوسعة.
 (٨) برعم جانبي. (٩) سلامية متوسعة في الساق الارضي.

Leaves الاوراق

INITIATION AND EMERGENCE نشوءها وبزوغها (ظهورها)

يبدأ نشوء الورقة (المنشآت) (*primordia*) بخلايا خاصة في قمة القمة النامية
apical dome التي تنقسم (تصبح مرستيمية) وتنتج انتفاخات أو بروزات في قمة
 الساق. وتنتشر البروزات وتحيط القمة وخاصة منشآت عمود *sheath* ورقة
 الحشائش (شكل ١-١١). وبعد تكوين لسين *apical* الورقة تصبح الخلايا
 في الانسجة تحت اللحمية *subhypodermis* مرستيمية وتنتج براعم جانبي.
 ومن ثم يتكون اتصال الاوراق والاغصان والسويقات وسلاميات الساق من المرستيمات

البينية . *intercalary meristems* (تلك الموجودة بين الانسجة البتيميزة او المتخصصة) .

وفي ورقة الحشائش ينقسم المرستيم البيني الى جزئين بتكوين الليسين *ligule* . وقد وجد بأن الجزء العلوي يساهم بنمو التصل والجزء السفلي يساهم بنمو الغمد (Jewiss 1966) . ان نمو ورقة الحشائش يحدث وهي لاتزال داخل لغات الاوراق القديمة *pseudostem* . وفي ذات الفلقتين تنبغ الاوراق من براعم رقيقة وقصيرة . لذا فان النمو يكون اسأاً بتوسع الخلايا . ويظهر نشوء الورقة في البيئة الثابتة على القمة بمعدل ثابت لتركيبي وراثي معين (Mitchell 1953) . وتسمى الفترة بين ظهور منشآت الاوراق المتعاقبة بالـ *plastochron* . اما الفترة الزمنية بين ظهور اوراق القمة المتعاقبة فتسمى (Bunting and Drennan 1966) *phyllochron* . وقد تختلف عن الـ *plastochron* . وتؤدي الفترات الزمنية التي يكون فيها الـ *phyllochron* اطول من الـ *plastochron* الى تكوين قمم سيقان طويلة (Langer 1972) . وفي الحنطة يكون ظهور ورقة قيمة معينة في الـ *plastochron* الخامس . وهذا يعني ان الورقة الخامسة قد نشأت عند ظهور اول ورقة . وبما ان ظهور او بزوغ الاوراق في ذات الفلقتين يكون من براعم رقيقة لذا فان التميز بين الـ *Phyllochron* والـ *plastochron* غير مفيد كما في الحشائش التي يحدث فيها نمو الورقة في الساق الخضري .

هنا وان الابحاث حول معدل نشوء الورقة وظهورها في نباتات المحاصيل محدودة . وقد وجد بأن درجة الحرارة والضوء وعوامل اخرى تؤثر على تكوين الـ *plastochron* (جنول ١١ - ١) . وقد لوحظ في حشيش السليم بأن درجات الحرارة (٨ - ٢٥ م°) . وشدة الاضاءة العالية زادت من معدلات الـ *plastochron* والـ *phyllochron* . وهذا ليس مدهشاً لان معدل تكوين النباتات تنظمه درجة حرارة . وقد ادى رفع درجة الحرارة من ١٥ - ٢٠ م° الى زيادة معدل ظهور الورقة في الحنطة بحوالي اكثر من ٥٠ ٪ وقلل معدل الـ *plastochron* بمقدار ٥٠ ٪ من ٥ أو ٦ أيام الى ٢ أو ٣ أيام (Langer 1972) . هنا وكان معدل ظهور الورقة في الشعير خطي عند زيادة الاضاءة من ٧٨ إلى ٣٢.٥ واط / م² (Aspinall and Paleg 1963) . الا ان هذا التأثيرات تأثرت بتغيير درجات الحرارة .

جدول (١١ - ١) معدل ظهور الاوراق في حفيش الغليم المصري .

العائلة	الظروف الاخرى	المعدل (يوم / ورقة)
٢٥ م	-	٥,٨
١٨ م	٢١,٥٣٠ لكس	٦,٤
١٢ م	٠٠٠٠	٩,٤
١٠ م	٢١,٥٣٠ لكس	١٠,٢
الشتاء	بيت زجاجي غير مدفأ	١٥,٥
الشتاء	بيت زجاجي مدفأ	٩,٥

المصدر : R. H. M. Eanger.

عدد الاوراق

يتحدد عدد الاوراق المنتجة على الساق او الشطء tillers نشوء النورة الزهرية . ان تكوين الاوراق على القمة يعطي المجال الى تكوين نشوء الازهار (شكل ١١ - ١ D) (Sharman 1945; Bunting and Drennan 1966) والتي تحدد عدد الاوراق . وتحتوي الاشطاء او الافرع الثانوية أو ذات الترتيب الاعلى على ورقة او ورقتين اقل من الساق الرئيسي . وذلك بسبب انها تظهر بوقت متاخر وتعرض لنفس الظروف البيئية المحفزة للتزهير . لذا فإن نشوء التزهير يكون عند عدد اقل من الاوراق .

ان عدد الاوراق في الحنطة والشوفان والشعير من ٧ - ٩ . وفي الذرة الصفراء من ٧ - ١٤ . وفي هجن الذرة الصفراء من ١٤ - ٢١ . وفي اصناف فول الصويا المتكيفة لخطوط العرض البعيدة عن خط الاستواء في الولايات المتحدة . ويختلف عدد الاوراق في هجن الذرة الصفراء من ٧ - ٤٨ ورقة بالنبات لتلك المتكيفة لخطوط العرض من ٥٠ درجة الى خط الاستواء . ويرتبط ارتفاع ونضج الذرة الصفراء ارتباطاً عالياً بعدد الاوراق (Cross and Zuber 1973) . هذا وان عدد منشآت الاوراق الموجودة في جنين البذرة هي صفة خاصة بالنوع . وتحتوي اغلب حبوب المحاصيل الجنوبية مثل الحنطة على ثلاثة اوراق في البذرة الناضجة . بينما يمكن تميز خمسة اوراق في اجنة بنور الذرة الصفراء (Sass 1951) . ويكون الـ Plastochron السادس خلال البزوغ او في المرحلة الاولى لنمو البادرة .

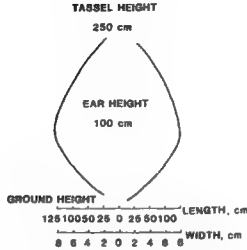
العوامل المؤثرة على نمو الورقة FACTORS AFFECTING LEAF GROWTH

يتأثر عدد وحجم الاوراق بالتركيب الوراثي والعوامل البيئية (Humphries and Wheeler 1963). وان لموقع الورقة على النبات (عدد plastochron) والذي ينظم وراثياً تأثير واضح على معدل نمو الورقة وحجمها النهائي (Bunting and Drennan 1966). والقدرة على الاستجابة للظروف البيئية المحيطة كجاهزية الماء (Ralph 1982).

ويزداد طول الورقة وعرضها ومساحتها تدريجياً مع تطور النبات الى حد معين . وفي بعض الانواع تبدأ هذه الصفات بالانخفاض تدريجياً مع التطور الحاصل في النبات . لذا فان اكبر الاوراق يكون بالقرب من منتصف النبات . مثل نبات النرة الصفراء (شكل ١١ - ٢) . وتكون ورقة العلم *flag leaf* (أعلى ورقة على النبات) أقصر وأضيق وذات مساحة أقل من ورقة العرنوص *ear leaf*. ان هذا النمط من توزيع الاوراق هو صفة لاغلب الانواع . وفي بعض الحشائش مثل الشعير يقل طول الصفحة الورقية مع نشوء الازهار . الا ان عرضها يزداد لذا تكون ورقة العلم عريضة (Goodin 1972). ان سبب نقص مساحة الاوراق العلوية غير معروف ولكن يظهر بأنه تنافس مع المجموعة الزهرية على العناصر الغذائية . هذا وينخفض معدل نمو الاوراق النسبي بزيادة عدد الاوراق (Milkthorpe and Moorby 1974).

وكانت تمثل الاوراق في مرحلة النمو الخامسة في فول الصويا من وزن النبات الجاف الكلي ٧٠ ٪ (Hanway and Weber 1971) وقد وصل نمو الاوراق أقصى حد عند مرحلة النمو السادسة وبقي ثابتاً حتى مرحلة النمو العاشرة . بينما إزداد وزن النبات الجاف الكلي بسرعة بسبب نمو الساق والثمار . وبعد مرحلة النمو السادسة ينخفض حجم ووزن الاوراق الجديدة . اما بعد مرحلة النمو العاشرة فيكون إنخفاض وزن الاوراق بسبب شيخوخة الاوراق السفلية . وتصل اوراق النبات وزنها ومساحتها القصوى بوقت مبكر من دورة الحياة . وبعد ذلك تكون الزيادة في الاوراق مساوية الى الفقد . وهي حالة تسمى بمساحة الاوراق الحرجة *critical leaf area*.

وبالرغم من ان اوراق النبات السفلية تكون أصغر من اوراق النبات الاخرى وغالباً ماتت بسبب الظروف البيئية القاسية والشيخوخة . فهي ضرورية للنمو الخضري . على سبيل المثال . وجد بأن الكاربون المشع ^{14}C المعطى للورقة



شكل (١١ - ٢) مخطط يوضح صورة جانبية لحجم اوراق نبات القمح العلف

الثالثة لنبات نجيلي (حشيشي) كان فعالاً في الورقة الرابعة والخامسة والسادسة (Bunting and Drennan 1966) . وتحصل قرنات فول الصويا السفلية على الغذاء بصورة رئيسية من الاوراق المقابلة لها من الاوراق المقابلة لها (Johnson et al. 1960). وفي الشعير يساهم الغمد والساق بحوالي ٥٠ - ٧٠ ٪ من التمثيل الضوئي

الظاهري *apparent photosynthesis* لانتاج الحبوب كمساهمة النصل (Thorne 1959) . وفي اوراق ذات الفلقتين يساهم السوق الطويل ذو القاعدة الكبيرة بقسط كبير من نواتج التمثيل . وللمواد النيتروجيني تأثير واضح على توسع الورقة وخاصة عرض الورقة ومساحتها (Humphries and Wheeler 1963) . وعندما كان النيتروجين قليل كانت الورقة الرابعة في الحنطة اكبر حجماً اما عندما كان النيتروجين عالى فكانت الورقة الخامسة هي الاكبر حجماً . ويعتقد بأن هذا التحويل في الحد الاقصى للحجم الى ورقة اعلى هو بسبب قلة التنافس على النيتروجين بين الاوراق العلوية والساق البازغ والنورة الزهرية (Bunting and Drennan 1966) . كما ان نقص النيتروجين يسبب انخفاض مساحة الورقة بسبب شيخوخة الاوراق السفلية .

ويبدو ان العناصر الاخرى لها تأثير اقل من النيتروجين على نمو الورقة والشيخوخة بالرغم من وجود تنافس على اغلب العناصر الغذائية بين الاوراق الحديثة والقديمة وبين الثمار والاوراق .

ولاسباب غير مفهومة تماماً كانت استطالة اوراق الحنطة اقل معنوياً أثناء الليل من أثناء النهار (Christ 1978) وتصل الاستطالة الى الصفر عند ازدياد مدة الظلام . ويعود هذا الانخفاض الى قلة الاشعة خلال مدة الضوء السابقة كما اشير الى تأثير الليل (الاشعة تحت الحمراء) التي قد تتفاعل مع التغذية العضوية .

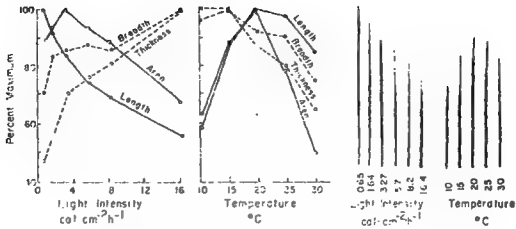
وفي المناخ الرطب يؤدي الري (في مدينة كولومبيا ولاية ميزوري) الى تشجيع استطالة الورقة بسرعة في حشيش فيسكو الطويل (*Festuca tall fescue* arundinaceae) خلال اشهر الصيف (Nelson et al. 1978). الا ان نمو الورقة في المعاملات غير المروية كان اكثر في الخريف والربيع اللاحق عندما كانت الرطوبة متوفرة طبيعياً .

واوضح Ralph (1982) بأن اصناف عباد الشمس المتاخرة النضج قد استفادت من شد الماء بتوسع الورقة خلال مرحلة النمو الخضري . وهذا عكس ماوجد في الاصناف المبكرة . وكانت اوراق الاصناف المتاخرة اقل تحديداً واقل تنافساً من النورة الزهرية وتوسعت اكثر عند ريهامرة اخرى . وقد انتجت الاصناف المتاخرة النضج التي عرضت لشد الماء مثل الصنف 'Stenchurian' ٦٠ ٪ مساحة ورقية اكثر من النباتات التي كانت تحت الارواء الكامل . هذا وكانت المساحة الورقية للاصناف المبكرة غير المروية اقل من مساحة الاوراق للنبات المروية .

أدت درجات الحرارة العالية (٣٥ °م) والايام الطويلة والاشعة المنخفضة (حوالي ١٤ - ٤٢ واط / م^٢) في صف الحنطة 'Marquis' الى تكوين اوراق طويلة ورفيعة ورقيقة (Friend 1966) (شكل ١١ - ٣) . ومن جهة اخرى . ادت درجات الحرارة المنخفضة (١٥ °م) والاشعة العالية والايام القصيرة الى تكوين اوراق قصيرة وعريضة وسميكة . وقد ايدت الدراسات التي اجريت على حشيش التيموثي timothy هذه النتائج . حيث ادت درجات الحرارة المعتدلة في البيت الزجاجي (ادفى من الخارج) الى زيادة طول الورقة بمقدار ٣.٥ مرة . وكان الـ Phyllochron ٩.٣ يوماً و ١٣.٥ يوماً للنباتات النامية في البيت الزجاجي والحقل على التوالي . وقد ادى زيادة طول النهار الى زيادة معدل نمو الورقة . و انتجت نباتات الحنطة المعرضة لفترة باردة (تعجيل التزهير) اوراق ذات نصل اقصر من النباتات غير المعرضة

(Westmore and Steeves 1971).

ومن الصعب تقييم تأثير المدة الضوئية على معدل ظهور الورقة وذلك بسبب ان المدة الضوئية الطويلة غالباً ماتكون مرتبطة بزيادة درجة الحرارة . والتي هي دافع



شكل (٣ - ١١) تأثير الضوء ودرجة الحرارة على نمو أوراق الحنطة .

قوة رئيسي لتكوين النبات . لذا فان دلائل تأثير المدة الضوئية غالباً ماتكون متضاربة وغير واضحة .

شيخوخة الورقة LEAF SENESCENCE

يصل عدد الاوراق ودليل المساحة الورقية (LAI) حده الاقصى ثم تبقى ثابتاً لمدة زمنية الى حين ابتداء الشيخوخة. ان هذا التوازن في دليل مساحة الاوراق ناتج من فقد الاوراق السفلية بمعدل يساوي انتاج الاوراق العلوية الجديدة . لذلك فان دليل الاوراق يتجه لتكوين حالة استقرار plateau عند وصولها الحد الاقصى في حوالي ٤ - ٧ لكساء المحاصيل بغض النظر عن الكثافة النباتية المستخدمة فوق المستوى المتوسط . وعادة تكون المحاصيل العلفية النجيلية ذات الاوراق الرفيعة والقائمة دلائل مساحة ورقية اكثر من ٧ .

وقد وجد Langer (1972) بان معدل عدد الاوراق الحية كان ٤.٥ - ٨.٥ في الساق لاناوع نجيلية علفية نامية في بيوت زجاجية مدفئة في بريطانيا . مقارنة مع ٣.٧ - ٣.١ في البيوت الزجاجية غير المدفئة . وادى اضافة النيتروجين الى رفع عدد الاوراق قليلاً في درجة حرارة اعلى . وتصاب الاوراق السفلية لنباتات ذات محتوى منخفض من النيتروجين بالتحرق fire (الشيخوخة) .

وتبدأ الشيوخوخة في الاوراق النجيلية الفردية من اقدم جزء من الورقة (القمة) وتنتج الى الاسفل . اما شيخوخة النباتات الفردية فتبدأ عند الاوراق السفلية (القديمة) وتنتج الى الاعلى . وفي الوقت الذي يكون فيه نبات النرة الصفراء قد انتج ١٠ - ١٢ ورقة فان مايقارب من ٤ - ٥ اوراق تكون قد وصلت مرحلة الشيخوخة (الفقد في دليل مساحة الورقة يكون صغير نسبياً لان الاوراق المفقودة صغيرة) . وتكون عادة الورقة الخامسة هي الورقة الحية الاولى في نبات النرة الصفراء عند ظهور النورة الذكورية . tasseling .

يعتقد بان سبب الشيخوخة هو عادة انتقال وإعادة توزيع العناصر المعدنية العضوية الى مصاب اكثر منافسة مثل الاوراق الحديثة والثمار والاشطاء والجنور . وتنخفض مساحة الاوراق الحديثة والثمار الى هذه الاعضاء تدريجياً مع الشيخوخة . ولا توجد دلائل لانتشار المخزون الاحتياطي (التطفل , parasitism) مع زيادة عمر الورقة . كما كان يعتقد حدوثه سابقاً .

ان انتاج وتوزيع الاوراق السريع مهم جداً في انتاج المحاصيل لغرض اعتراض اقصى اشعة شمسية ممكنة لانتاج اعلى حد من نواتج التمثيل . ويؤدي تكوين كساء خضري كامل الى تقليل منافسة الادغال . ويكون معدل البذار في فتق الحقل عالي بصورة غير اعتيادية . وسبب ذلك يعود جزئياً الى تقليل منافسة الادغال بين النباتات ضمن المرز . هذا وتصل معدلات نواتج التمثيل حدها الاقصى عادة عند دليل مساحة ورقية مقدارها ٣ - ٥ لاجلب نباتات المحاصيل المزروعة .

السيقان Stems

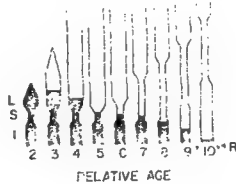
يتكون الساق من السلاميات التي تفصل العقد التي تحمل الاوراق . ويكون عدد العقد والسلاميات مساوياً الى عدد الاوراق والتي تنشأ جميعها من نفس الفايئومر . phytoemer . تحوي سيقان الحشائش المعتدلة على عقد مضغوطة (متقاربة) غير متداخلة (بدون استطالة السلامية) والتي تبقى حتى مرحلة الاستطالة بعد نشوء التزهير تحت سطح التربة . وعند التزهير تستطيل اربعة او خمسة سلاميات علوية تبعد الاوراق العلوية عمودياً عن بعضها . ويبقى عدد مساوي من السلاميات القصيرة والضيقة عند سطح التربة او تحتها (تسمى بالتاج crown . ويكون العديد من نباتات ذات الفلقتين عديمة الساق الى حين التزهير . وقد قسم

Westmore و Steeves (1971) النباتات اعتماداً على طول السلامة كما يلي :
 (١) ساق قصير (بدون سلاميات واضحة مثل نباتات اذن الصخل *Plumans*)
 ونمو السنة الأولى للنباتات المحولة *biennials* . (٢) ساق طويل (وجود
 سلاميات واضحة مثل الفرة الصفراء ونمو السنة الثانية للنباتات المحولة) .

استطالة السلامة INTERIODE ELONGATION

يحدث النمو في طول الساق من المرسيمات البينية للسلاميات . (انظر الفصل
 الثامن) . وتتكون استطالة في السلامة نتيجة زيادة عدد الخلايا و (اساساً)
 بالتوسع الخلوي . ويؤدي الاخير الى زيادة تصل الى ٢٥ سم او اكثر . ويكون النمو
 في قاعدة الساق بالانقسام الخلوي (مرسيمات بينية) بدلاً من المرسيمات القمية
 وهكذا فان فعالية المرسيمات البينية تكون منتشرة خلال طول صفيحة الورقة
 والقدم والسلامية في مرحلة النشوء والتكوين (شكل ١١ - ٤) . وعند النضج تنتقل
 فعالية المرسيم الى مناضق القاعدة واخيراً تتوقف . (Sharman 1942) .

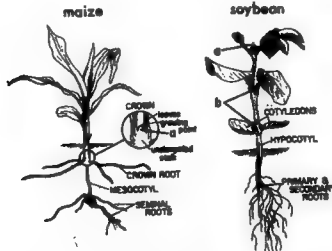
تنمو السلامة الحاملة للنورة الزهرية في الحشائش *peduncle* و ساق
 التزهير في ذوات الفلقتين من المرسيمات البينية . وعادة يكون نمو السلامة محدود
 لاسباب غير معروفة تماماً . لكن السبب يظهر بأنه تحديد عدد الخلايا الفعالة .
 هذا وقد وجد شذوذ او تغاير في السويق الجنينية الوسطي *mesocotyl* وهي
 اول سلامة في الحشائش (Vanderhoef et al. 1979) . حيث استمرت



شكل (١١ - ٤) يبين فعالية المرسيم البيني (الجزء الداكن) وعلاقته بالنمو (العمر) مع تقدم انسجة الورقة
 والساق في نبات نجيلي . (L) منطقة المرسيمات في نصل الورقة (١) السلامة تتقلص مع الوقت الى مساحة
 صغيرة عند قاعدة السلامة وقسم الجنور (R)

بالاستطالة الى مالا نهاية في الظلام او في الضوء الاحمر البعيد ضمن غذاء احتياطي محدود . ويؤدي تعرض السويقة الجنينية الوسطى مباشرة الى الضوء الاحمر الى تثبيط نموها وذلك لان النمو ينظم بصفة الفايتركروم phytochrome . الا انها قد تحور بالتغذية العضوية . وازافة الى تحديد النمو بسبب عدد الخلايا الفعالة فان كمية منظمات النمو في المرستيمات البينية قد تكون محددة بسبب انها لا تتكون في هذه المرستيمات كما في المرستيمات القمية . لذا يجب توفير منظمات نمو النبات من اجزاء النبات الاخرى خارج المرستيم . وتستجيب النباتات المتغذية Dwarf للمصدر الخارجي للهرمونات exogenous خارجي النشأ) وبصورة عامة للمعاملة بالجبريلينات .

وتبقى نباتات الذرة الصفراء بدون سيقان حتى تصل الى ارتفاع حوالي ٤٠ سم وتكون ثمانية اوراق كاملة التوسع والتي تنشأ من ساق خضري pseudostem . ولا يوجد في هذه المرحلة نمو ملحوظ للسلاميات (شكل ١١ - ٥) . وبسبب العقد والسلاميات المضغوطة فان النباتات المحولة biennials تنتج نموات على شكل وردة (تورد - rosette) عديم الساق خلال السنة الاولى . وتنتج الحشائش المعتدلة سيقان خضرية الى حين نشوء الازهار . وعند نشوء الازهار تستطيل سلاميات الحشائش والسيقان في النباتات المحولة التي تنتج نورة زهرية . وفي بداية موسم النمو تحوي نباتات الحشائش عادة على الاشطاء (السيقان) الخضرية والتكاثرية .



شكل (١١ - ٥) نباتات حديثة لقرنة الصفراء وقول الصويا ويظهر فيها قسم النمو (٥) والبراعم الجانبية للقول الصويا (٥) (Creek et al. 1976).

وفي ذات الفلقتين التي لاتحتوي على سيقان (مثل الـ *Plantago* تستطيل آخر سلامة اسفل النورة الزهرية كثيراً لاعطاء ساق زهري (Sachs 1965). ويكون طول السيقان الزهرية واضحاً في بعض الانواع مثل البرسيم الابيض . ويمكن اعتبار مهماز (peg) فستق الحقل ساق ثمرى عديم العقد بالرغم من انه مورفولوجياً ينشأ من زهرة تختلف الى حد ما عن الساق الزهري العادي .

وفي النباتات الطويلة ذات الفلقة الواحدة والفلقتين تستطيل السلامة عادة من الاسفل الى الاعلى , acropetally . الا ان النمط التبادلي يكون بشكل سلاميات طويلة وقصيرة هي صفة بعض الانواع . وقد تكون السلامة السفلية لعدد من الانواع قصيرة بحيث لا يمكن ملاحظتها . بينما يكون طول اعلى سلامة . وخاصة حامل النورة الزهرية peduncle في نباتات الحشائش ٢٥ سم او اكثر وبصورة عامة تستطيل سلاميتان او اكثر في وقت واحد . ولكن في عباد الشمس لاتبدء استطالة سلامة جديدة حتى تكتمل استطالة السلامة التي تسبقها (Sachs 1965) . وتتركز فعالة الخلايا المرستيمية التي تسبب استطالة السلامة في نهاية قاعدتها كما هو موضحاً بوجود فعالية الانقسام الاعتيادي . في الخلايا المصبغة stained . هنا ماعدا مهماز فستق الحقل (Jacobs 1947)

تكوين النمو CROWN DEVELOPMENT

تكون عقد النبات السفلى المتقاربة جداً من بعضها التاج crown والذي يوجد عند مستوى سطح التربة او تحتها . وينشأ من هذه العقد الكثيفة قمم نامية وبشكل متعاقب لتكوين الجنور العرضية المسماة بالجنور العقدية nodal, roots او الجنور التاجية crown roots او نظام جنري تاجي coronal root system (شكل ١١ - ٥) . وتكون العقد السفلية في النباتات البقولية المعمرة مثل البجت التاج . الا ان الجنور العرضية لاتتكون فيها .

ان موقع نقاط النمو في تاج الحشائش يكون اسفل سطح التربة . وهذا يؤدي الى تعريض اوراق جديدة من الاغصان والاوراق القديمة (الساق الخضرى pseudostem) وهذه صفة لها اهمية كبيرة في ادارة المحاصيل . وبما ان النورة الصفراء تحافظ على هذه الحالة (وجود القمة النامية عند سطح التربة) لمدة اربعة اسابيع او اكثر الى حين تكوين مايقارب ثمانية اوراق كاملة التوسع (شكل ١١ -

هـ .) . لذا فان اضرار الانجماد المبكر او القطع تحصل للنمو الخضري الموجود فوق سطح التربة فقط . وهي الاوراق القديمة والصغيرة . وتتسبب اضرار دائمية قليلة عند ازالة الاوراق بوقت مبكر . حيث ان كساء الاوراق الجديدة يظهر او يبرز من مرستيمات يينية غير مستعملة ومحمية بالتفاف الاوراق . ومن اوراق حديثة التكوين . هذا وان التطبيق الشائع لرعي الحنطة خلال الشتاء وبداية الربيع

في جنوب الولايات المتحدة لا بسبب اضراراً بليغة لانتاج الحبوب طالما ان مناطق النمو في الساق تبقى خضرية ، اي انها محمية تحت سطح التربة . اما الرعي بعد نشوء الازهار الذي يصاحب استطالة الساق مع ابتداء الايام الطويلة في الربيع فيؤدي الى ازالة النورة الزهرية وهدم القدرة على انتاج الحبوب . اما نباتات ذات الفلقتين والعديد من الحشائش الاستوائية ، التي لاتشابه حشائش المنطقة المعتدلة ، فانها تنمو من براعم على سيقان هوائية (شكل ١١ - هـ . فول الصويا) . لذا فان الانجماد وضرر السيقان فوق سطح التربة يمكن ان يؤدي الى موت البراعم الابطية والقدرة على اعادة النمو . وعند موت نباتات فول الصويا بالانجماد . على سبيل المثال ، فان قدرة اعادة النمو تنعدم بسبب عدم وجود براعم اسفل محور الفلقتين الموجودة فوق سطح التربة ، لذا فمن الضروري اعادة زراعة المحصول .

العوامل المؤثرة على نمو الساق

منظمات النمو

ان تأثير النمو وخاصة الجبريلينات على نمو الساق موثقة بصورة جيدة ويمكن لمنظمات النمو ازالة التقزم في النباتات المتقزمة وراثياً مثل نباتات النرة الصفراء والبرازيليا المتقزمة ، حيث تشجع منظمات النمو زيادة نمو السلامة واعادة ارتفاع النبات الاعتيادي وذلك عن طريق تصحيح نقص الجبريلين الداخلي (انظر الفصل السابع) .

مع ذلك . فان طبيعة التقزم في صنف النرة البيضاء (RS 610) المتقزم لم يمكن تصحيحه بالمعاملة بالجبريلينات . وقد استجابت المقد الارمنية السفلية فقط (سلامة السوقة الجنينية الوسطى والسلامية الثانية) والرويشة (Kasperbauer 1961)

(Gardner and) . ان عدم استجابة النرة البيضاء للمعاملة بالجبريلينات قد يكون بسبب حقيقة ان التقزم في النرة البيضاء ينظم بعدد من الجينات . بينما جين واحد ينظم تقزم النرة الصفراء والبازلاء (Windscheffel et al. 1973) هذا وان الجبريلينات تكون فعالة في تصحيح التقزم الذي يكون توريشة بسيط .

وقد لاحظ Leopold (1969) بان للاوكسين تأثير واضح على تكوين الاشطاء (نمو السيقان من براعم التاج) في الشعير (جدول ١١ - ٢) . وعند ازالة قمة الساق ومصدر الاوكسين فان نباتات الشعير صنف 'Wintex' لم تكون اشطاء بشكل غزير مالم تعامل برشها باوكسين naphthaleneacetic acid (NAA) . وقد اعطت النباتات المعاملة باوكسين NAA والمزالة قممها اشطاء - امة تقريباً للنباتات الطبيعية غيرالمزالة قمم سيقانها .

الضوء

للضوء تأثير واضح على نمو الساق . وفي الظلام تكون استطالة السلاميات *etiolation* باقصى درجة وتشابه استطالة سلامية السويقة الجينية السفلى . وتستطيع سلاميات النباتات المظلمة كما في الكثافات العالية بصورة كبيرة . ويعتقد بان تأثير الظل يسبب تشجيع الاوكسين الذي يعتقد يانه يعمل بالتعاون مع الجبريلينات . ونظرياً يكون الهدم الضوئي *photodestruction* للاوكسين اقل في النباتات المظلمة وذلك بسبب ان اشعة العالية تقلل الاوكسين وارتفاع النبات .

ان تأثير طول النهار (المدة الضوئية) عادة على نمو الساق اقل وضوحاً من تأثيرها على التزهير . وبالتالي فان استجابة تكوين الساق للمدة الضوئية لاتدور عادة . وتؤدي الايام الطويلة الى زيادة طول السلامية وارتفاع النبات وخاصة في نباتات الايام قصيرة النهار . وعندما تنمو اصناف فول الصويا المتكيفة لخطوط العرض الشمالية في الجنوب فانها تكون السلاميات اقل واقصر وتزهير بوقت مبكر (Shibles et al. 1975) .

اما زراعة الاصناف المتكيفة لخطوط العرض الجنوبية في الشمال فيعطى نتائج معاكسة . وقد تتكون بذور غير ناضجة عند الحصاد . اما زراعة الاصناف في مناطق تكيفها في وقت مبكر جداً فيؤدي الى نتائج مشابهة لصفات الايام القصيرة في

خطوط العرض الجنوبية (الواطئة) . على سبيل المثال ، تؤدي الزراعة المبكرة الى تكوين سلاميات قصيرة في نباتات النرة الصفراء وهكذا تتكون نباتات قوية .

يتأثر نمو السلامة في الحشائش في بنوعية الاضاءة كتأثر نمو الورقة حيث ان كلاهما ينمو من مرستيمات بينية *intercalary meristems* من اصل واحد ومن مناطق بعيدة عن الضوء مخفية في لفات اغصان الاوراق القديمة . وهذا يولد تأثير الظلام او الضوء تحت الاحمر (شكل ١١ - ٥) . والضوء تحت الاحمر (اقصى فعالية عند ٧٣٠ نانوميتر) يشجع استطالة السويقة عند ٦٦٠ نانوميتر) بتثبيطها . وهي آلية تنظيم البزوغ من اعماق الزراعة المختلفة (1979 Vanderhoef et al.) . يكون البزوغ في الحنطة من السلامة الثانية وليس السلامة الاولى او استطالة السويقة الجنينية الوسطى . هذا ولم يتم توضيح تأثير الضوء ذو طول الموجة الواحدة *monochromatic light* على السلامة العليا . ومع ذلك فان هذه السلاميات والاوراق الحديثة في الحشائش تكون محصورة في ظلام اغصان الاوراق القديمة لاکثر فترة نموها . وهكذا يبدو بان استجابة فاييتوكروم تحت الحمراء (FR) يعمل في هذه الحالة . ويثبط النمو عندما تتعرض للضوء .

اما سلاميات ذات الفلقتين فهي غير مغلقة بالتفاف الاوراق ، وهذا يشير الى استجابة قليلة معدومة لضوء الفايتوكروم الاحادي . الا ان هذه العلاقة غير مثبتة تماماً . ومع ذلك فقد اظهرت الفاصوليا من النوع الشجيري *bush-type* عند تعرضها الى الاشعة تحت الحمراء في ليل طويل (انظر الفصل الثاني عشر) طبيعة نمو متسلق (استطالة السلامة) بسبب تكوين سلاميات طويلة (1977 Kretschmer et al.) وهي استجابة جين فردي . وقد تحفز التزهير المستقل عن طبيعة النمو المتسلق باليالي القصيرة (مدة ضوئية طويلة) . وقد استنتج بان استجابة كل من التزهير وطبيعة النمو المتسلق ينظم بالفايتوكروم لكنها منفصلين عن بعضهما ، اي انها صفة وراثية مستقلة .

تؤثر العناصر المعدنية وتوفر الماء على نمو السلاميات وتوسع الخلايا خاصة كما في اي عضو خضري او ثمري . ويؤدي التيتروجين والماء بشكل خاص الى زيادة ارتفاع النبات ، الا ان التأثير معقد بسبب ان الحجم الكبير من الاوراق يؤدي الى تظليل اكثر .

هذا وان التظليل يؤدي الى زيادة مستويات الاوكسجين الذي يؤثر على استطالة
السلاميات .

التفرع Branching

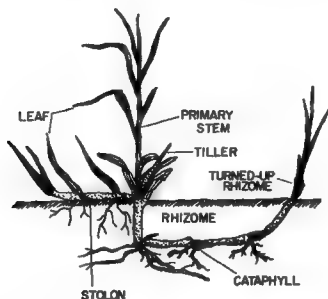
يعتمد نمو البراعم الموجودة في اباط الاوراق لتكوين الافرع الجانبية (كما ي
ذات الفلقتين) او تكوين الاشطاء في الحشائش على التركيب الوراثي والعوامل
البيئية . وان القدرة على تكوين الافرع الجانبية دائما متواجدة وذلك بسبب وجود
برعم في اباط كل ورقة . هذا ولا تعطي هجن الذرة الصفراء اشطاء ماعدا تكوين
سيقان العرائض ear shoots بالرغم من توفر الظروف الملائمة وذلك بسبب
التنظيم او السيطرة الوراثية القوية (Duncan 1975) ويمكن دفع او اجبار
العرائض الى ان تتكون على عقدة عقد اسفل من تكوينها الطبيعي وذلك بازالة
او كسر القمة النامية . فمثلا يؤدي ازالة ساق العرنوص حديث التكوين في نبات
الذرة الصفراء الى تحفيز تكوين العرنوص السفلي المباشر . از القدرة على تكوين
عرائض مساويا الى عدد الاوراق بسبب ان البراعم الابضية والاوراق هي مكونات
الفايتومر phytomer . وان عدد السيقان الموجودة فعلاً في نباتات الحشائش تكون
دائماً اقل من قدرة النبات بسبب التنظيم الوراثي والبيئي .
لقد وضع Arber (1934) وجود ثلاثة أنواع من الاشطاء في الحشائش هي :

١- الاشطاء القائمة *apogeotropic* . تشابه هذه الاشطاء في مظهرها الساق
الرئيسي الا انها تحوي على ورقة او ورقتين اقل من الساق الرئيسي واحياناً
تبقى خضرية حتى عندما يصبح الساق الرئيسي واشطاء اخرى في مرحلة
التكاثر . وتبزغ هذه الاشطاء *intravaginal* من اغصان الاوراق الحية
(شكل ١١ - ٦) .

٢- الاشطاء الافقية *diageotropic* وتعود السيقان الزاحفة *Stolons*
والسيقان الارضية *rhizomes* الى هذا النوع . وهي تختلف عن السيقان
القائمة ببعض الصفات المورفولوجية وتبزغ عادة السيقان الارضية والسيقان
الزاحفة من الاغصان الميتة لاغلب العقد السفلية عند او تحت سطح التربة .
وتنمو السيقان الزاحفة افقياً فوق سطح التربة وتنتج سيقانا واوراقا طبيعية
(شكل ١١ - ٦) . اما السيقان الارضية فتتبع تحت سطح التربة وتنتج اوراقاً

محورة بدون اتصال (cataphylls) laminas على سيقان تحوي على عقد
وسلاميات طبيعية (شكل ١١ - ٦).

٢- اشطاء سفلية geotropic . ان هذه الانواع من السيقان غير شائعة الحدوث .



شكل (١١ - ٦) طيبة التفرع في نبات حشيش معمر . يبين الساق الرئيسي وعلاقته بالافرع الجانبية . وتظهر السيقان الزاحفة والاشطاء الهوائية والسيقان الأرضية الى الاعلى لتكوين سيقان جديدة .

تكوين الاشطاء

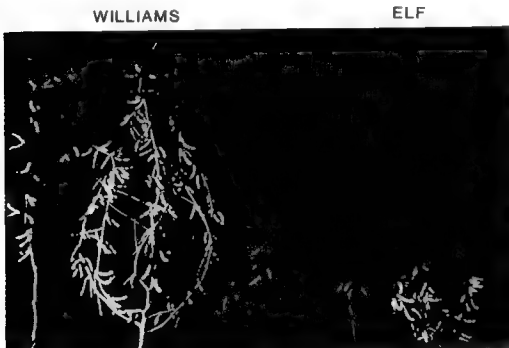
تسمى عادة السيقان الابضية العلوية intravaginal في الحشائش اشطاء tillers اما السيقان المتكونة من البراعم الابضية على سيقان نباتات ذات الفلقتين فتسمى افرع جانبية side branches هنا وان الاصل والتكوين المورفولوجي لكلا النوعين متشابهة حيث انهما يظهران من اباط الاوراق وعادة من العقد السفلية ان لم يكن الساق ذو سيادة قمية . وتظهر الاشطاء الى الاعلى acropetally ابتداء من العقد السفلية . ويظهر الشطاء الاول في الحنطة من محور الرويشة coleoptile axil وفي الرز من محور الورقة الثالثة (Murata and Matsushima 1975) . وبغض النظر عن النوع تكون محاور الاوراق السفلية من الساق الرئيسي والاشطاء الاولى . وهذه بدورها تؤدي الى تكوين

الاشطاء الثانوية والتي ايضا بدورها تؤدي الى تكوين الاشطاء الرباعية *tertiary tillers* وهكذا وبصورة عامة تظهر جميع الاشطاء الاولى قبل الثانوية والرباعية وتنتج الحشائش المعمرة اشطاء على مدار السنة. وتعد طبيعة تكوين الاشطاء هذه مع تراكم الغذاء المخزون العامل الاساسي الرئيسي في بقاء النباتات حية من موسم الى اخر (التعمير *perennation*) . وتتصف نباتات الرز والذرة البيضاء وهي محاصيل حولية معتدلة بهذه الصفات وتبقى حية من موسم لآخر في المناخ الاستوائي . وتستعمل طبيعة النمو هذه في الرز والذرة البيضاء لانتاج محاصيل الراتون *ratoon crops* (اعادة النمو من السيقان المتبقية بعد الحصاد) في المناطق الاستوائية .

ان انتاج الاشطاء في الحشائش المعمرة ذات الموسم البارد يتعرض الى اختلافات موسمية كبيرة . لقد كان نمو تكوين الاشطاء في الفيسكو الطويل *tall fescue* صنف (S 170) على شكل منحنى أسى *exponential* خلال الربيع . ثم اصبح ثابتاً خلال الصيف وازداد مرة اخرى خلال الخريف حيث انتج مالمجموعة ٣٠٠ فرعاً بالنبات في السنة (Robinson 1968) . وقد انخفض انتاج الاشطاء في. اذار من السنة التالية الى ٢٥٠ وفي حزيران الى ١٠٠ . ان طبيعة تكوين الاشطاء في حشيش التيموثي *timothy* اضعف بكثير من الفيسكو الطويل كقدرتها على البقاء والاستمرار من موسم الى اخر . وتنتج الحشائش المعتدلة اعداداً كبيرة من الاشطاء التكاثرية في الربيع وبداية الصيف . كما انها تنتج عدداً مساوياً او اكثر من الاشطاء الخضرية . وفي نهاية الموسم تنتج اشطاء خضرية فقط . هذا وتنتج الاشطاء الخضرية نمواً ورقياً خلال موسم النمو . وتعتبر فترة الشتاء ثم تصبح اشطاء تكاثرية في الموسم القادم . حيث قد تعرضت الى درجات حرارة منخفضة (تعجيل التزهير) وایام قصيرة في الخريف السابق (Gardner and Loomis 1953) . وتنتج الحشائش الاستوائية سيقان خضرية مع عقد وسلاميات واضحة كاشطاء هذا وأن الاشطاء الخضرية والتكاثرية متشابهة في مظهرها قبل ظهور السنابل . وبالرغم من ان حشيش *Reed canarygrass* من الحشائش المعتدلة فهو ينتج احياناً سيقان خضرية . أما حشيش *Dallas* و *bahiagrass* (*Paspalum spp.*) وهي انواع شبه استوائية . وتحاول ان تكون بين الانواع المعتدلة والاستوائية من حيث انتاج السيقان الخضرية والتكاثرية .

وفي الجت ومعظم البقوليات المعمرة الاخرى تظهر التفرعات من البراعم القاعدية (التاج *crown*) . وبعد فقد السيادة القمية في سيقان النبات الام الذي يحدث

عادة بالتزهير او الشيخوخة او الحش الاولى او الربعى اشارة الى ظهور او بزوغ الاشطاء من المحصول الجديد . وتكون البقوليات الحولية مثل فول الصويا اشطاء تفرعات جانبية) من العقد السنلية اعتماداً على الصنف والبيئة (وخاصة الاضاءة العالية ومسافات الزراعة الواسعة) (شكل ١١ - ٧) . وتنشط البراعم التي تبقى ساكنة سواء على الافرع او على الساق الرئيسى بالفترة الضوئية في وقت متأخر من موسم النمو لانتاج نورات زهرية (مجاميع *racemes* . وتظهر المجاميع الزهرية من براعم اوراق محورة *prophyll* أو *scales* في اباط الاوراق وفي وقت واحد تقريباً على النبات في الاصناف محددة النمو . اما في الاصناف غير محددة النمو فيكون ظهورها من القمة الى القاعدة .



شكل (١١ - ٧) تفرع البراعم الجانبية في فول الصويا في الصنفين Williams و Elf وتأثير الكثافة النباتية على ذلك (555,000 نبات / هكتار (يسار) و ١٨٥,٠٠٠ نبات / هكتار (يمين) . والصنف Williams من مجموعة النمو III وغير محدد النمو ، أما الصنف Elf فهو شبه متقدم محدد النمو من نفس المجموعة

ان نمط تكوين السيقان الزاحفة والارضية في الحشائش الحولية يختلف قليلاً عن الاشطاء القائمة حيث انها تنشأ ايضاً من البراعم الابطية السفلية (Etter 1951) (شكل ١١ - ٦). وتظهر الاشطاء القائمة والسيقان الزاحفة والارضية من اوراق محورة واقية تشمل *prophyll* وهي مناظرة للبروشة *coleoptile* في بزوغ الجنين. وفي السيقان الارضية يكون الـ *cataphylls* (شكل ١١ - ١) شكل ورقة طبيعية بعد خروج الساق الارضي من التربة (شكل ١١ - ٦). هنا وان الاوراق الموجودة على السيقان الارضية طبيعية في شكلها الظاهري (المورفولوجي).

وتعتمد فترة بقاء السيقان الارضية تحت الارض على التركيب الوراثي. وتحاول تفرعات السيقان الارضية الاتجاه الى الاعلى قبل ظهور الساق الاول الذي عادة ينمو الى مسافة كبيرة نسبياً قبل ان يتجه الى الاعلى (Sharman 1945; Etter 1951). وفي عملية ظهور السيقان الارضية فوق سطح التربة يصبح واحد او اكثر من الـ *cataphylls* اوراقاً تحولية ذات اغشية قصيرة (طول ١ ملم). هنا وتكون الاوراق المتكونة فوق سطح التربة اوراقاً طبيعية. وتخرج سيقان الفيسكو الطويل الارضية من مسافة قصيرة. وبسبب طبيعة النمو هذه يتكون نمو على شكل حزمة *bunch-habit* وفي حشائش اخرى يتأخر خروج السيقان الارضية ويؤدي ذلك الى تكوين نمو مفترش (طبيعة نمو مشابهة لحشائش المروج). وحيث أن اشطاء حشيش البساتين *orchardgrass* والتميموثي *timothy* تتكون من بين الفم *intravaginal* فان حشيش التيموثي يكون على شكل حزمة. وتظهر بادرات اصناف حشيش كنتاكي الازرق *Kentucky bluegrass* المختلفة الانواع نمو على هيئة مفترشة او حزمة. وحالة وسطية بين النوعين (1976 Nittler and Kenny) اما اصناف الجت وهي تختلف في هذا المفهوم (1962 Cowett and Sprague) حيث ان بعض السيقان تنمو افاقياً قبل اتجاهها الى الاعلى مكوناً طبيعة نمو زاحف *creeping habit*.

العوامل المؤثرة على التفرغ

لقد تركزت الدراسات حول التفرغ على الاشطاء القائمة. لذا فان المعلومات عن انتاج السيقان الارضية والزاحفة بالمقارنة يكون محدود. وهذا واضح بسبب ان الاشطاء القائمة قد تساهم مباشرة بحاصل الحبوب او العلف ومن السهل نسبياً

ملاحظتها. وان التفرع دالة للتداخل بين التركيب الوراثي والعوامل البيئية
البايولوجية والفيزيائية .

التركيب الوراثي Genotype

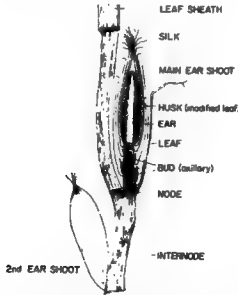
بالرغم من ان قدرة عدد التفرعات بالنبات يرتبط مباشرة بعدد الاوراق .
ولكن لاتعطي جميع اباط الاوراق افراً . وان بعض الانواع تنتج اكثر من فرع
واحد من ابط فردي لذا يبدو بانها تحوي على أكثر من برعم ابطي فردي . ويمد
التغ مثلاً تقليدياً على ذلك . لان طبيعة النمو هذه تسبب مشكلة رئيسية في انتاج
التغ . حيث يجب ازالة جميع هذه السيقان الابطية بالايدي او اليا بمشبطات
النمو . وفي التغ تحفز السيقان الجديدة بعملية قطع القمم النامية (ازالة النورات
الزهرية) لاجل المحافظة على نواتج التمثيل والكاربون في الاوراق التي هي الناتج
المحصود (Beatty 1982) . لذلك فيعد ازالة قمم النبات يتكون ساقين او ثلاثة
سيقان من ابط كل ورقة بدلاً من ساق واحد كما هو الحال في اغلب النباتات . وان
ظهور اكثر من ساق لا يحدث تشعب في الشكل المتماثل للبرعم المتكون وبدلاً من
ذلك تتكون براعم ابطية اخرى وتنمو من اباط اوراق الافرع الجديدة .
لقد تم توضيح التنظيم الوراثي للتفرغ الابطي بدراسة اصناف الشوفان من قبل
Frey and Wiggans (1957a) . فقد اعطت اصناف الشوفان الربيعية ذات التفرع
الواطيء المزروعة بمساحة ١٢ إنج معدل ٥.٧ - ٧.١ شطء بالنبات مقارنة مع معدل
٩.٧ - ١٣.٠ شطء بالنبات للاصناف ذات التفرغ العالي . واعطت الاصناف الشتوية
٩.٧ - ١٤.٢ شطء بالنبات .

وفي الحنطة اختلف عدد الاشطاء باختلاف التركيب الوراثي الا أن المدى يبدو
اضيق مما هو في الشوفان . وتختلف نباتات المراعي كثيراً في عدد الاشطاء وفترة
النمو

ولاسباب غير مفهومة تماماً يؤثر موقع الابط على الساق تأثيراً كبيراً على طبيعة
ونمو الاشطاء او الافرع . وبالرغم من قدرة الساق والظروف البيئية الملائمة فان
براعم حشيش التيموثي في الاوراق العلوية الثلاثة لاتكون اشطاء (Langer 1956) .
إن جميع البراعم الابطية في نبات التيموثي تبقى ساكنة حتى تتكون خمسة أوراق
متوسمة بصورة كاملة كحد ادنى (عامل الخدائة juvenile) . وتنتج البراعم
الابطية القاعدية القديمة اشطاء قبل غيرها من البراعم . وبما ان اشطاء النرة الصفراء
لاتساهم عادة بدرجة مهمة في حاصل الحبوب فقد استخدمت طرق التحسين

والانتخاب لاستنباط تراكيب وراثية لاتغطي اخطاء . بعكس اهداف التربية المستخدمة في اغلب محاصيل الحبوب . فمثلا انتخبت اصناف الثورة الخضراء للحنطة والرز لاتتاج عدد كبير من الاخطاء التي تغطي حاصلًا عاليًا في ظروف البيئة الملائمة وقد ازداد عدد الاخطاء بنباتات الرز بعد الزراعة ووصل العدد الأقصى للاخطاء قبل اسبوعين من ظهور السابل (يعتمد بالدرجة الرئيسية على حاصل العناصر الغذائية للنبات الام (Murata and Matsushima 1975) .

وبما ان البراعم الابضية من سيقان الذرة الصفراء لاتنتج سيقان خضرية في الهجن الحديثة . فان البرعم في ابط الورقة رقم ١١ وحيثاً البرعم في ابط الورقة رقم ١٠ يعطي ساق وعرنوص ثمري . وتعتبر سيقان العرائيص محورة مقارنة مع الاخطاء الطبيعية . حيث تكون العقد مضغوطة بسبب السلاميات القصيرة يعتمد على التركيب الوراثي (والاوراق (المضافات husks) تكون اقصر كثيراً من الاوراق الطبيعية (شكل ٨ - ١١) . وينتهي ساق العرنوص بسنبلة النورة الزهرية بدلاً من النورة الذكورية tassel (العنقود (panicle) في الساق الرئيسي . وتحت الظروف المثالية يمكن ان يتكون اكثر من عرنوصين على نفس التركيب الوراثي . وعندما تزال العرائيص العلوية في المراحل المبكرة فان سيقان العرائيص تتكون في اباط الاوراق السفلية . ومن المشوق معرفة ان البراعم الابضية الموجودة فوق اول عرنوص مباشرة تكون ساكنة تماماً . وهذا يوضح عدم وجود دلائل لتكوين اية عرائيص على تلك الاوراق بغض النظر عن البيئة وحزمة النبات .



شكل (٨ - ١١) مخطط يبين للتطبع الطولي للساق وفرع العرنوص مع مكوناته التركيبية .

منظمات النمو Growth Hormones

تنظم هرمونات النمو وخاصة اوكسين الـ NAA التفرع الابطي بدرجة كبيرة كما هو (Leopold 1949; Cowett and Sprague 1962; and Laude 1975) موضح بتشريح قمم سيقان صنفى الشعير Wintex و Chalco (جدول ١١ - ٣ و ١١ - ٣) .

جدول (١١ - ٢) تأثير الاوكسين وازالة القمة النامية على التفرع في الشعير

المعاملة	عدد النباتات التي	
	اعطت تفرعات	لم تغطي تفرعات
بدون معاملة (مقارنة)	٣	٧
ازالة القمة	٩	١
ازالة القمة + اوكسين	٣	٧

المصدر Leopold 1949

جدول (١١ - ٢) تكوين التفرعات في نباتات الجث المعاملة بمنظمات النمو .

المعاملة	عدد البراعم / النبات	عدد السيقان / النبات
TIBA	٨,٣	٥,٣
NAA	٢,٣	١,٣
المقارنة	٣,٧	٢,٣

المصدر Cowett and Sprague 1962

وتؤدي الايام الطويلة الى تقليل التفرع في الشجير والجت كما ادت المعاملة بالاووكسين (Leopold 1949) . وقد اعطى الشجير والجت اشطاء بغزارة في ايام الخريف القصيرة . وهذا يؤكد تأثير عامل الاوكسين بسبب وجود زيادة الاوكسينات بالايام الطويلة .

ويبدو ان ازالة قمم البراعم وحتى اوراق الحنطة الحديثة بالحش يؤدي الى ازالة المصادر الفنية بالاووكسين مسبباً زيادة عدد التفرعات (Laude 1975) . وقد وجد بان السيقان الارضية تتفرع كثيراً في الترب الجافة . ويعزى هذا الى تثبيط الاوكسين بالاثيلين الذي قد يتولد بالمقارنة المتسببة من التربة (انظر الفصل السابع) .

الضوء والكثافة النباتية Light and Plant Density

تعتبر الكثافة النباتية (وما ينتج عنها من جاهزية الضوء للكساء الخضري) عامل مهم في تكوين السيقان الابطية (شكل ١١ - ٦ . جدول ١١ - ٤) . وقد افترض ضرورة توفير اشعاع عالي للجزء السفلي في النبات . الا ان Mitchell and Cules (1955) قد استنتجا من دراسة على حشيش الشيلم بأن توفر الضوء للنبات كله او تسليط الضوء من القمة الى القاعدة كان العامل الفعال او المؤثر . وقد اوضح Langer (1972) بوجود علاقة خطية بين تكوين الاشطاء وشدة الاضاءة لنوعين من الحشائش . حيث ادى زيادة شدة الاضاءة من ٥٣٨ الى ١٨٨٠ لكس (حوالي ٣٨ - ١٣٢ واط / م^٢) الى زيادة عدد التفرعات بالنبات ثلاث مرات لفترة اسبوعين بدرجة حرارة (٢١ م و ١٦ م) في النهار والليل على التوالي وعندما تكون الظروف ملائمة يزداد تكوين عدد الاشطاء في محاصيل الحبوب الصغيرة حتى يصل عدد السيقان بوحدة المساحة حده الاعلى بغض النظر عن معدل عدد البذار .

وتؤدي زيادة الكثافة النباتية الى تقليل التفرعات الابطية في الذرة الصفراء التي تكون سيقان العرائيص . وعندما تكون الكثافة عالية جداً لا تتكون أية عرائيص في النبات . ويعزى عدم تكوين العرائيص barreness هذا الى التنافس على نواتج التمثيل وذلك بسبب تقليل التمثيل الضوئي في الكثافة العالية . والتفسير المحتمل الاخر هو بقاء السيادة القمية فعالة بسبب زيادة الاوكسين في النباتات المظللة . وقد اقترح ايضاً سبب اخر وهو انخفاض فعالية انزيم nitrate reductase (Ziesler et al. 1963) لان اختزال النترات يعتمد على التمثيل الضوئي . كما وجد ايضاً بأن

جدول (١١ - ٤) تأثير السماد والنيتروجين ومعدل البذار على عدد الاقطاء بالنبات .

	معدل البذار (كغم / هكتار)	النيتروجين (كغم / هكتار)	
	٢,٣٦	٢,٢٤	١,١٢
صفر	١,٠٢	١,٠٠	١,٠٢
٢٠	١,٠٣	١,١٢	١,١٨
٤٠	١,١٦	١,٣٥	١,٤٠
٨٠	١,١٩	١,٣٥	١,٦٨

المصدر : Frey and Wiggans 1957

عدم تكوين المرانيس قد يكون بسبب نمو الحرية (Sass and Loeffel 1959) . والذي قد يمسك اما عدم توفر نواتج تمثيل كافية او فشل تمثيل البروتين بسبب قلة اختزال النترات او كلاهما . هذا وان فشل سيقان المرانيس في بدء النمو من ابط الاوراق يرتبط بالسيادة القمية وتنظيم الاوكسين . وعندما تبدأ المرانيس بالنمو فان فشلها في تكوين عرانيس طبيعية . كما يحصل احيانا قد يكون بسبب التنافس على نواتج التمثيل .

المدة الضوئية ودرجة الحرارة

تتداخل المدة الضوئية مع درجة الحرارة لتؤثر على تكوين الاقطاء . وبصورة عامة تكون حشائش الموسم البارد ، ومنها الحنطة نطاء استجابة الى الايام القصيرة ودرجات الحرارة المنخفضة في الخريف . وتشجع درجات الحرارة الدافئة تكوين التفرعات في حشيش *Paspalum dilatatum* . وهو من حشائش المنطقة تحت الاستوائية ولا يوجد تأثير مضر لدرجات الحرارة العالية التي قد تصل الى ٢٥م (Youngner 1972) .

تؤدي الفترات الضوئية الطويلة الى تقليل عدد الاضطاء معنوياً في *Oryzopsis miliaca* هو نبات استوائي (Koller and Kigel 1972) . وفي الجت وهو نبات طويل النهار . تشجع الايام القصيرة التفرع في النباتات القديمة او الكبيرة . الا ان الايام الطويلة تشجع التفرع في البادرات (Covett and Sprague 1962) . ومع ذلك فقد تتكون براعم الاضطاء والجذر الوتدي اللحمي في بادرات البرسيم الحلو المحلول (*Melilotus*) وهو نبات طويل النهار) في السنة الاولى وقد تأثرت كثيراً بالايام القصيرة في الخريف (شكل ١١ - ٩) . هذا وتؤثر درجة الحرارة معنوياً على تكون البراعم (Kaschbauer et al. 1962) . وبصورة عامة تؤدي زيادة درجة الحرارة وخاصة تحت الايام الطويلة الى تقليل التفرعات في مدى واسع من الانواع



شكل (١١-٩) . براعم التاج في جذور النفل الحلو في (١) آب . (٢) ايلول (٣) تشرين اول (٤) تشرين ثاني .

المعتدلة . وتشجع درجات الحرارة العالية تكوين التفرعات في الانواع الاستوائية . هذا ويبدو ان تفرع السيقان الارضية في حشيش كنتاكي الازرق bluegrass يتحضر بالايام القصيرة بالخريف كاشطاء قائمة (جدول ١١ - ٥) . وكم تكون السيقان الارضية افرعاً في الربيع (Etter 1951) . ربما بسبب تأثير الايام الطويلة . وتتكون السيقان الارضية الجديدة افرعاً في الخريف وان ظهورها المبكر يساعد على تكوين كثافة جديدة .

جدول (١١ - ٥) تأثير طول النهار ودرجة الحرارة على عدد الاشطاء / ١٠٠ نبات من حشيش كنتاكي الازرق .

المعاملة	عدد الاشطاء		
	١١ ساعة ضوء	١٥ ساعة ضوء	١٩ ساعة ضوء
بارد	١٦٠	١١٨	١١٦
دافئ	١٨٢	١١٦	١٠٦

المصدر : Peterson and Loomis 1949

الماء والعناصر

يعتمد تكوين الاشطاء بدرجة كبيرة على العوامل التي تشجع النمو الخطري السريع وخاصة الماء والنايتروجين اذا كان الضوء (الزراعة على مسافات واسعة) والعوامل الاخرى متوفرة بكمية وافرة (جدول ١١ - ٤) . فقد وجد Langer (1972) بأن عدد الاشطاء في التيعوثي خلال ثلاثة اسابيع عند استعمال ١٥٠ جزء بالمليون نتروجين كان ضعف عددها في النباتات التي اضيف اليها ٦ جزء بالمليون . وقد تطلب اربعة اسابيع للفسفور لاعطاء مثل هذه الزيادة . هذا ولم تؤدي زيادة معدل البوتاسيوم ابداً الى مضاعفة عدد الاشطاء . ولم تحصل أية استجابة للفسفور أو

البوتاسيوم بمستويات النيتروجين المنخفضة . ويتوقف تكوين الاشطاء في العشائش قبل التزهير ، الا ان (Aspinall 1961) وجد بأن تكوين الاشطاء في الشعير يستمر حتى ظهور السنابل (بعد التزهير anthesis) مع توفر مستويات كافية من العناصر . وقد ادى الفسفور والزنك الى زيادة عدد الاشطاء في الحنطة . الا ان ألبوتاسيوم لم يؤثر عليها (Fuchring 1959) . ويبدو من المعقول توقع تكوين الاشطاء استجابة الى النيتروجين والماء . حيث ان توفرها بكميات كبيرة ضروري لاسناد النمو الخضري السريع . هذا وان تعويض نقص العناصر المعدنية الاخرى غالباً ما يحفز تكوين الاشطاء .

الحش أو الري Clipping or Grazing

ان اية معاملة سواء كانت آلية (ميكانيكية) او غير ذلك تسبب ازالة قمة الساق وقد تلغي او تدمد السيادة القمية ايضاً وتحفز تكوين الاشطاء او الافرع مالم يكن مستوى القطع اسفل البراعم الابضية كما في حالة كون الفلقتين فوق سطح التربة اثناء الانبات الهوائي epigeus في نباتات ذات الفلقتين كقول الصويا . ان ازالة البراعم القمية بقطعها في فول الصويا يؤدي الى زيادة التفرع ولكن ليس له تأثير على حاصل البذور (Bauer et al. 1976) .

لقد تم الحصول على نتائج مشابهة مع النرة الصفراء الحبوبية (Singh and Colville 1962) . كما ان ازالة الاوراق الحديثة في الحنطة فقط قد حفز انتاج الاشطاء (Laude 1975) . وتعتبر البراعم والاوراق الحديثة مصدراً للاوكسين الذي يشجع السيادة القمية . وان القطع وازالة القمة النامية لتشجع تكوين الاشطاء يعطى عادة نتائج سالبة من حيث زيادة حاصل الحبوب ربما بسبب فقد المساحة الورقية والنيتروجين .

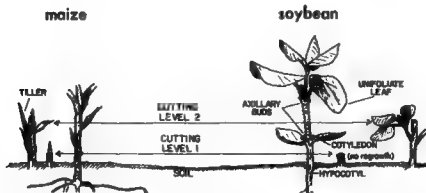
وادى ري النمو الخضري والتسميد بالنيتروجين الى تكوين سيقان ارضية قصيرة ظهرت في وقت مبكر في حشيش كنتاكي الازرق (Etter 1951) . الا ان نمو السيقان الارضية وتكوينها في حشيش brunswickgrass (*Paspalum micrae*) لم يتم بالحش والتسميد النيتروجيني (Beaty et al. 1970)

Vegetative Regrowth استعادة النمو الخضري

النباتات العلفية معرضة الى قطع كلي او جزئي وان استعادة النمو الخضري ضروري للمحافظة على استمرار الانتاج . ويؤدي رعي الحيوانات الى قطع النباتات بصورة مستمرة لكنه جزئ . اما الحش فهو ليس اختياري كما في الرعي واحياناً يؤدي الى قطع كامل للنباتات . اعتماداً على النوع وطبيعة النمو وادارة الحقل . وتختلف استجابة النبات في استعادة النمو كثيراً بين نظامي الحش .

REGROWTH OF GRASSES استعادة النمو في العشائش

أوضح Langer (1972) بأن استعادة النمو من الأجزاء الخضرية أو الاشباه عديمة السيقان في نباتات الحشائش . وخاصة المعمرة يحدث من مناطق عديدة (شكل ١١ - ١٠) . تنبذ الأوراق الحديثة من التفاف الورقة (الورقة المتوسعة كاملاً لاستبعاد النمو) . (٢) plastochrons جديد . (٣) تكوين اشطاء . جديدة من براعم الاوراق التي قد تخفزت بالحش . (٤) ظهور السيقان الارضية الجديدة التي تصبح اشطاء طبيعية بعد خروجها فوق سطح التربة . ان الطرق العديدة لاستعادة تكوين الجبيل للكساء الجديد يفسر بقاء واهمية الحشائش المعمرة للمراعي والكساء النجيلي (turf) .



شكل (١١ - ١٠) إعادة النمو في نباتات القزرة الصفراء وقزول الصويا طمخت طر، مستويين فوق سطح التربة . قول الصويا (يواقي) تستمد النمو يتكون من ساق جديد من البراعم الجانبية ان لم تتلف البراعم . والقزرة الصفراء (المعاشق) تستمد النمو يتكون أوراق جديدة بصورة مستمرة بالرغم من مستوى القطع وإنتاج الاكسلة الجديدة التي عادة تتحضر بالحقش .

استعادة النمو في البقوليات REGROWTH OF LEGUMES

ان استعادة نمو البقوليات محددة بشكوين سيقان جديدة ساكنة من العقد القاعدية (التاج (crown) (شكل ١١ - ١٠) . وقد يكون قطع النباتات شديد جداً الى حد ازالة البراعم الابطية السفلية والقدرة على استعادة النمو . كما يحصل بالاضرار المتسببة من الانجماد لنباتات البقوليات ذات البروز الهوائي (مثل قول الصويا) . اما في الجت وهو نبات معمر فان الحش يحفز النمو الجديد من براعم التاج الواقعة مباشرة تحت او قرب سطح التربة . واذا تأخر حصاد الجت بعد مرحلة التزهير فان السيادة القمية تفقد (كما يحدث في الحش) وتنمو سيقان جديدة من براعم التاج التي قد تزال ايضاً عند الحصاد . هذا وان ازالة السيقان الجديدة لمحصول الجت يسبب بعض المخاوف . ولكن يعتقد بعدم حدوث اضرار للمحصول القادم . وذلك بسبب استعادة النمو السريع للافرع غير المقطوعة . وبالطبع ان ازالة او قطع سيقان الجت الجديد باستمرار كما يحصل في الرعي الجائر قد يستنزف الغذاء الاحتياطي المخزون في الجنور ويضعف الكثافة النباتية .

الغذاء الاحتياطي FOOD RESERVES

يعد الغذاء العضوي الاحتياطي ضروري لبدء النمو الجديد . وقد اظهرت دراسة النمو في الظلام بان الكاربوهيدرات تعمل كغذاء احتياطي . وقد بين Smith (1962) بان النشا والسكر الغذاء الاحتياطي في الجنور (كاربوهيدرات غير تركيبية (nonstructural carbohydrates) تنتقل اثناء النمو في الظلام في الجت . بينما الهميسيليلوز hemicellulose ومكونات المادة الجافة الاخرى (الكاربوهيدرات التركيبية) لا تنتقل (جنول ١١ - ٦) .

تحصل النباتات الحولية الجديدة عادة على الغذاء من البذور التي تحوي على كمية وفيرة من الكاربوهيدرات والزيوت والبروتينات . اما النباتات المعمرة فتساهم بغذاء احتياطي قليل في انتاج البذور . لذا فان استعادة نمو النباتات الجديدة يكون اسأاً من الغذاء الاحتياطي المخزون في التراكيب الخضرية المختلفة مثل السيقان الارضية والسيقان الزاحفة والسيقان (القصب السكري) والكورمات (التيموثي) وقاعدة الاوراق او الجذامة stubble (وهي اجزاء السيقان المتبقية بعد قطع النباتات) (حشيش البساتين (orchardgrass) والجنور (الجت) (جنول ١١ -

جدول (١١ - ٦) مكونات جذور الصمير قبل وبعد النمو في الظلام

المكونات	قبل النمو	بعد النمو
المادة الجافة	٣٤,٢ غم	٣٦,٤ غم
النشا	١٠,٨ %	صفر
الدبكترين والسكريات الذائبة	٣,٣ %	١,٨ %
السكريات الكلية	٧,٩ %	١,٤ %
الهيمسيليولوز	١٠,١ %	١٦,٥ %
النيتروجين الكلي	٢,٦ %	٢,٣ %

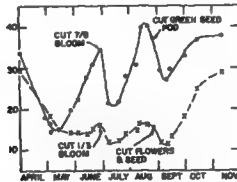
المصدر : Smith 1961

٦ . هذا وقد يكون الغذاء مخزون في أكثر من تركيب واحد لنفس النوع . وقد ستنجح Sprague and Sullivan (1950) أن استعادة النمو من حشيش البساتين (*Dactylis glomerata*) يعتمد أساساً على الغذاء المخزون في قاعدة الأوراق والجذور . ولاتنتج المحاصيل المحولة Biennials بذوراً خلال موسم النمو الأول ولكن بدلاً من ذلك تخزن كمية كبيرة من الغذاء الاحتياطي في الجذور الوتدية للحمية كما في الكرفس celeri أو في السويقات petioles (حامل الورقة) وتتراكم الكربوهيدرات الاحتياطية (الكاربوهيدرات غير التركيبية الكلية TNC) خلال فترات النمو الملائمة للتمثيل الضوئي . إلا أنها أقل من المثالية لنمو الأجزاء الخضرية . على سبيل المثال ، خلال أيام الخريف الدافئة الساطعة والليالي الباردة . تؤثر بعض العوامل المناخية وعوامل التربة وخاصة المحتوى العالي للنيتروجين في التربة تأثيراً سلبياً على تراكم الغذاء الاحتياطي . هذا ويزداد خزن الغذاء بزيادة عمر النبات .

يعتبر خزن الغذاء الاحتياطي عملية استراتيجية مهمة لمحاصيل العلف والمراعي والكساء النجيلي turf . هذا وتختلف الأنواع كثيراً فبعضها ذو قدرة على التكيف للحش أو القطع بسبب طبيعة النمو المقترش prostrate والمحافظة على دليل مساحة ورقية كبيرة قرب سطح التربة بعد الحش (مثل أنواع حشائش الكساء النجيلي turf) . ويمد الجت ذو فترة قليلة أو معدومة للقيام بذلك . لذا فإن تكرار الحش يجب أن يكون على أسس التوازن بين نوعية العلف والحاصل

والمحافظة على بقاء مساحة ورقية كافية لتراكم كمية وافرة من الغذاء الاحتياطي لاجل الاستمرار والبقاء . ويؤدي تكرار الحصاد الى زيادة نوعية العلف لكنه يقلل الحاصل وتراكم الغذاء الاحتياطي والاستمرارية والبقاء .

اظهرت دراسات عديدة في البقوليات والحشائش انخفاض محتوى الكاربوهيدرات الاحتياطية بعد الحش (Youngner 1972) وفي ولاية وسكانسن قد بين (Grabner 1927) بان وضع جدول لمواعيد الحصاد وذلك للسماح بتراكم كمية كافية من الكاربوهيدرات الاحتياطية ضروري لاجل انتاج حاصل جيد واستمرار وبقاء محصول البت (شكل ١١ - ١١) . ولاحظ Carlson (1966) بان معدل الورقيات غير المنسطة كان اكثر في نباتات البرسيم الاحمر المقطوعة من النباتات غير المقطوعة موضحاً بان منظمات النمو قد تكون عاملاً مهماً في استفادة النمو ايضاً .



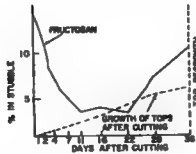
شكل (١١ - ١١) نسبة الكاربوهيدرات الجافة الكلية في جذور البت (• - •) ونفل خف الطير (x - x) المصنوعة مرتين خلال الموسم .

ويظهر بان البقوليات كالبت تعتمد بالدرجة الرئيسية على الغذاء الاحتياطي في الجنور لاستعادة النمو بسبب ان الاوراق السفلية تصل الى مرحلة الشيخوخة وتكون المساحة الورقية الجيدة المتبقية قليلة بعد حش المحصول للرئيس .

ومن ناحية اخرى نجد ان نفل خف الطير birdfoot trefoil يحافظ على مساحة ورقية سفلية أكثر من البت تحت ظروف الحش الجائر ، لذا فان استعادة النمو يعتمد بدرجة كبيرة على الاجزاء الخضراء المتبقية . هنا وان كمية الكاربوهيدرات المخزونة في جذور نفل خف الطير تكون اقل من تلك المخزونة في

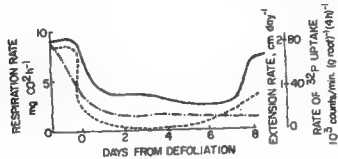
جنور الجت ، الا ان نفل خف الطير متكيف للنمو المفترض اضافة الى وجود مساحة ورقية قاعدية عالية حتى في ظروف الحش المستمر (شكل ١١ - ١١) . ونتيجة لذلك فان هذا النوع افضل ملائمة من الجت بكثير للحش المستمر في المراعي بمستويات قريبة من سطح الارض واقل ملائمة الى حاصل الدريس (Smith 1962) .

ان ضرورة الكربوهيدرات الاحتياطية لاستعادة النمو في البقوليات معروف بشكل واسع ولكن يبدو ان دورها في الحشائش ثانوي نسبياً (May 1960) . ان تراكم واستنزاف الكربوهيدرات بعد الحش مشابه لما هو موجود في الجت (شكل ١١ - ١٢) . وان الكربوهيدرات غير التركيبية الكلية TNC السائدة في الحشائش المعتدلة (مثل حشيش الشيلم) هو الفركتوزان fructosan بدلاً من الكلوكتوزان glucosan كما في البقوليات . وقد اقترح Davidson و Milthorpe سنة ١٩٦٦ بان خزن الكربوهيدرات التركيبية الكلية TNC في قواعد اوراق حشيش البساتين مهم لفترة ٢ - ٣ يوم فقط بعد الحش ، اي لبده النمو الجديد فقط . وفي دراسة اجراها Ward و Blaser (1961) وجدوا بان استعادة النمو يعتمد على كل من الكربوهيدرات المخزونة في الجذامة stubble (او ما تبقى من الزرع بعد الحصاد) وعلى المساحة الورقية المتبقية بعد الحش وقد انتجت الاشطاء الفردية الحاوية على كمية عالية من الكربوهيدرات الاحتياطية مادة جافة اكثر خلال ال ٢٥ يوم الاولى من الاشطاء ذات المحتوى القليل . وبغض النظر عن كمية الغذاء الاحتياطي فان النباتات الحاوية على نصلين لورقتين انتجت مادة جافة اكثر خلال فترة ال ٣٥ يوم من النباتات الحاوية على جميع الاوراق مع انصالتها . ويعتبر دليل المساحة الورقية المتبقية بعد الحشائش مهم جداً .



شكل (١١ - ١٢) . النسبة المئوية للفركتوزان في بقايا حشيش الشيلم بفترات مختلفة بعد القطع وفي التسم المولي للنبات بنفس الفترات .

وبعد الحش الجائز لحشيش البساتين ينخفض تنفس الجنور وانتشارها وامتصاص العناصر الى ما يقارب الصفر (شكل ١١ - ١٣) . وقد تكون الكربوهيدرات ضرورية لاستمرار هذه الفعاليات الايضية خلال مراحل النمو المبكرة . ويتضح بان متطلبات الطاقة لاستعادة النمو قد تجهز كلياً او جزئياً اذا بقيت كافية من انصال الاوراق بعد الحش لتجهيز الغذاء لبزوغ الاوراق الجديدة التي تصبح بعد وقت قصير ذاتية التغذية **autotrophic** .



شكل (١١ - ١٣) معدل تنفس الجنور . وتوسعها (- - -) . وامتصاص الفسفور المشع ³²P (- . - . -) في نباتات حشيش الـ *Dactylis glomerata* قبل وبعد الحش الجائر .

الخلاصة

ينشأ النمو الخضري في المرستيمات القمية والبراعم الجانبية والمرستيمات البينية للأوراق الحديثة والسلاميات . وعادة يكون النمو من المرستيمات البينية محدد بعدد من الخلايا الفعالة الثابتة أو الهرمونات الضرورية التي تجهز من مصادر أخرى . (براعم وأوراق حديثة) . وتتكون نباتات متقزمة عندما تكون المرستيمات البينية في السلاميات خالية من هرمونات النمو وخاصة الجبريلينات . إلا أنها تعود إلى الحجم الطبيعي إذا جهزت الجبريلينات من مصدر خارجي . وتستجيب المرستيمات البينية إلى كل من الجبريلينات والضوء الأحمر البعيد . على سبيل المثال ، تستطيل السلامة الأولى (mesocotyl) في الحشائش في الظلام = الضوء تحت الأحمر far-red (٧٢٠ نانوميتر) أو إذا عوملت بالجبريلينات أو ثبطت بالضوء الأحمر (٦٦٠ نانوميتر) . وتشير المرستيمات البينية الأخرى إلى تنظيم الفايتوكروم لها .

تشأ الأوراق كتنوع جانبي أو محيطي للقمّة النامية أو البراعم القميّة في فترة زمنية ثابتة تسمى plastochron . وأن عدد الـ plastochron يكون غير محدد لحين نشوء الأزهار . وهو وقت إنتاج نشوء الأوراق الذي يؤدي إلى نشوء النورات الزهرية .

تحتوي وحدة منطقة النمو الفايتومير phytomer على ساق وعقدة وسلامة وغمد الورقة (سويق petiole والصفحة وبرعم أبطي . وأن عدد الفايتومترات phytomers (مثلاً عدد الأوراق المتكونة) سواء كانت تتحدد بالمدة الضوئية كما في فول الصويا أو درجة الحرارة (تمجيل التزهير) كما في محاصيل الحبوب الشتوية تختلف باختلاف النوع وعادة تحوي على ٧ - ٩ لأغلب محاصيل الحبوب الصغرى . ١٠ - ١٦ بالنسبة لفول الصويا و ١٤ - ٢١ لهجن الذرة الصفراء الأمريكية . وأن عدد الأوراق المتميزة يكون من ٣ - ٥ في جنين بنور الحشائش الناضجة . وتحوي عادة بنور الذرة الصفراء على خمسة أوراق والحنطة على أربعة أوراق .

ويختلف الحجم النهائي للورقة باختلاف موقعها العمودي على النبات ، وتلائم درجات الحرارة العالية والأشعة المنخفضة تكوين أوراق طويلة ورقيقة ، أما درجات الحرارة المنخفضة والأشعة العالية فتلائم تكوين أوراق قصيرة وسميكة وذات وزن نوعي ورمحي عالي . وتكون عادة الأوراق السفلية في النبات ذات مساحة أقل نسبياً وأرق من الأوراق العلوية . وتصل مرحلة الشيخوخة قبل نضج النبات وخاصة

في المحاصيل المزروعة بكثافة عالية. وتساهم الاغصان والسويقات بدرجة اقل
وأجزاء النبات الأخرى غير الورقية مساهمة جوهريّة بالتمثيل الضوئي اعتماداً على
النوع .

ينمو الساق من المرستيم البيني في قاعدة السليمة . هذا ولا يوجد في بعض
الأنواع (عديمة الساق stemless نمو يذكر للسليما ماعدى استطالة السليمة
الآخيرة كساق التزهير . وتبقى الحشائش المعتدلة عديمة الساق حتى ابتداء
التزهير . وقد تتألف البراعم الموجودة في أباط الأوراق النمو الفعال لإنتاج أشطاء
خضرية أو أفرع جانبية وإنتاج سيقان تكاثريّة كسيقان وعراييس الذرة والنورات
الزهرية في فول الصويا وهذا يعتمد على عمر النبات والمدة الضوئية . وتنمو السيقان
أو الأشطاء من أغصان الأوراق الحية للحشائش (intravaginal) بصورة قائمة
وتكون الساق الرئيسي .

أما الأشطاء أو الأفرع التي تنمو من أغلفة ورقية ميتة فتكون عادة في المحور السفلي
من الساق فيكون فيها النمو أضعف كالسيقان الزاحفة والأرضية . وتجه السيقان
الأرضية إلى الأعلى لتكون سيقان قائمة طبيعياً اعتماداً على التركيب الوراثي
والبيئة . وتحدد طبيعة التفرع إلى حد ما مدى بقاء النوع حياً من سنة إلى أخرى

ولتنوع الإضاءة تأثير كبير على نمو السليمة وخاصة الضوء الأحمر (٦٠٠
نانوميتر) والضوء تحت الأحمر (٧٣٠ نانوميتر) . وتستطيع السويقة الجنينية
الوسطى (السليمة الأولى) في بادرات الحشائش إلى أن تستهلك المركبات العضوية
الاحتياطية في الظلام (الضوء تحت الأحمر) . وفي الحشائش يحمي التفاف الأوراق
(pseudostem) النمو المرستيمي البيني باستطالة السيقان الحديثة من الضوء .
وهكذا فإن تأثير الظلام أو الإشعاعات الحمراء يكون فعالاً ويصبح النمو تحت
تنظيم الفايوكروم كما لوحظ في السليمة الأولى mesocotyl . ويؤثر التركيب
الوراثي وميسورية الإضاءة (يرتبط بالكثافة النباتية) ودرجة الحرارة والرطوبة
والخصوبة ومنظمات النمو بدرجة كبيرة على السيادة القمية ونمو البراعم الأبطية
وإنتاج الأشطاء والأفرع . وقد يحفز الحش والرعي أو نشوء التورة الزهرية التوازن
الهورموني ومع السيادة القمية يؤدي هذا إلى تكوين الأشطاء من التاج أو البراعم
الأبطية . يحصل استعادة النمو في الحشائش من الأشطاء البينية والسيقان الأرضية
المتجهة إلى الأعلى واستمرار توسع الورقة من المرستيم البيني للأوراق البازغة . ويعد
الغذاء الاحتياطي في الحشائش عاملاً مهماً في نشوء أسطح أوراق جديدة . وخلال أيام
معدودة يصبح النبات ذاتي التغذية . إن أنسجة التمثيل الضوئي المتبقية عند قاعدة

النبات بعد الحش كما في انواع حشائش الكساء النجيلي turf قد تقلل الحاجة او تموض عن متطلبات الغذاء العضوي الاحتياطي المخزون . بالمقارنة مع نباتات مثل الجت التي تحوي على اوراق معنودة بعد القطع فانها تحتاج الى كمية كبيرة من الغذاء الاحتياطي المخزون لدعم النمو الجديد واستمرار وبقاء النباتات حية في الحقل .

References

- Arber, A. 1934. *The Gramineae: A Study of Cereals, Bamboo, and Grass*. New York: Macmillan.
- Aspinall, D. 1961. *Aust. J. Biol. Sci.* 14:493-505.
- Aspinall, D., and L. G. Paleg. 1963. *Bot. Gaz.* 124:429-37.
- Bauer, M. E., J. W. Pendleton, J. E. Beuerlein, and S. R. Ghorashy. 1976. *Agron. J.* 68:709-11.
- Beatty, D. 1982. *AGR 240-14*. Murray State University.
- Beatty, E. R., J. D. Powell, and R. M. Lawrence. 1970. *Agron. J.* 62:363-65.
- Bunting, A. H., and D. S. H. Drennan. 1966. In *The Growth of Cereals and Grasses*, ed. J. D. Ivins and F. L. Milthorpe. London: Butterworth.
- Carlson, G. E. 1966. *Crop Sci.* 6:419-22.
- Christ, R. A. 1978. *J. Exp. Bot.* 29:603-10.
- Cowett, E. R., and M. A. Sprague. 1962. *Agron. J.* 54:294-97.
- Crookston, R. K., D. R. Hicks, and G. R. Miller. 1976. *Crops Soils* 28:7-11.
- Cross, H. Z., and M. S. Zuber. 1973. *Agron. J.* 65:71-74.
- Davidson, J. L., and F. L. Milthorpe. 1966. *Ann. Bot.* n.s. 30:185-98.
- Duncan, W. D. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Etter, A. G. 1951. *Mo. Bot. Gard. Annu.* 38:293-375.
- Frey, K. J., and S. C. Wiggans. 1957a. *Agron. J.* 49:48-50.
- _____. 1957b. *Proc. Iowa Acad. Sci.* 64:160-67.
- Friend, D. J. C. 1966. In *The Growth of Cereals and Grasses*, ed. J. D. Ivins and F. L. Milthorpe. London: Butterworth.
- Fuehring, H. D. 1969. *Agron. J.* 61:591-94.
- Gardner, F. P., and M. J. Kasperbauer. 1961. *Iowa State J. Sci.* 35:311-18.
- Gardner, F. P., and W. E. Loomis. 1953. *Plant Physiol.* 28:201-17.
- Goodin, J. R. 1972. In *The Biology and Utilization of Grasses*, ed. V. B. Youngner and C. M. McKell. New York: Academic Press.
- Graber, L. F. 1927. *Univ. Wis. Res. Bull.* 80.
- Hanway, J. J., and C. R. Weber. 1971. *Agron. J.* 63:227-30.
- Humphries, E. C., and A. W. Wheeler. 1963. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 14:385-410.
- Jacobs, W. P. 1947. *Am. J. Bot.* 34:361-70.
- Jewiss, D. R. 1966. In *The Growth of Cereals and Grasses*, ed. J. D. Ivins and F. L. Milthorpe. London: Butterworth.
- Johnson, H. W., H. A. Borthwick, and R. C. Leffel. 1960. *Bot. Gaz.* 122:77-95.
- Kasperbauer, M. J., F. P. Gardner, and W. E. Loomis. 1962. *Plant Physiol.* 37:165-70.
- Koller, D., and J. Kigel. 1972. In *The Biology and Utilization of Grasses*, ed. V. B. Youngner and C. M. McKell. New York: Academic Press.
- Kretschmer, P. M., J. L. Ozbun, S. L. Kaplan, D. R. Laing, and D. H. Wallace. 1977. *Crop Sci.* 17:797-99.
- Langer, R. H. M. 1954. *Br. J. Grassl. Soc.* 9:275.
- _____. 1956. *Ann. Appl. Biol.* 44:167-87.
- _____. 1972. *How Grasses Grow*. London: Edward Arnold.
- Laude, H. M. 1975. *Crop Sci.* 15:621-24.
- Leopold, A. C. 1949. *Am. J. Bot.* 36:437-40.
- May, L. H. 1960. *Herb. Abstr.* 30:239-45.
- Milthorpe, F. L., and J. Moorby. 1974. *An Introduction to Crop Physiology*. London: Cambridge University Press.
- Mitchell, K. J. 1953. *Physiol. Plant.* 6:425-43.
- Mitchell, K. J., and S. T. G. Coles. 1955. *Herb. Abstr.* 25:235.
- Murata, Y., and S. Matsushima. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Nelson, C. J., K. J. Treharne, and J. P. Cooper. 1978. *Crop Sci.* 18:217-20.
- Nittler, L. W., and T. J. Kenny. 1976. *Agron. J.* 68:395-97.
- Peterson, M. L., and W. E. Loomis. 1949. *Plant Physiol.* 24:31-43.

- Ralph, W. 1982. CSIRO Q. Rep., pp. 4-9.
- Robinson, M. J. 1968. *J. Appl. Ecol.* 5:575-90.
- Sachs, R. M. 1965. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 16:73-96.
- Sass, J. E., and F. A. Loeffel. 1959. *Agron. J.* 51:984-86.
- Sharman, B. C. 1942. *Ann. Bot. n.s.* 6:245-82.
- _____. 1945. *Bot. Gaz.* 106:269-89.
- Shibles, R., I. C. Anderson, and A. H. Gibson. 1975. In *Crop Physiology*, ed. L. T. Evans. London: Cambridge University Press.
- Singh, S. S., and W. L. Colville. 1962. *Agron. J.* 54:484-86.
- Smith, D. 1962. *Crop Sci.* 2:75-78.
- Sprague, V. G., and J. T. Sullivan. 1950. *Plant Physiol.* 25:92-102.
- Thorne, G. H. 1959. *Ann. Bot. n.s.* 23:365-70.
- Vanderhoef, L. H., P. H. Quail, and W. R. Briggs. 1979. *Plant Physiol.* 63:1062-67.
- Ward, C. Y., and R. E. Blaser. 1961. *Crop Sci.* 1:366-70.
- Westmore, R. J., and T. A. Steeves. 1971. In *Plant Physiology: A Treatise*, vol. 1A, ed. F. C. Steward. New York: Academic Press.
- Windscheffel, J. A., R. L. Vanderlip, and A. J. Cassady. 1973. *Crop Sci.* 13:215-18.
- Youngner, V. B. 1972. In *The Biology and Utilization of Grasses*, ed. V. B. Youngner and C. M. McKell. New York: Academic Press.
- Zieserl, J. F., W. L. Rivenbark, and R. H. Hageman. 1963. *Crop Sci.* 3:27-32.

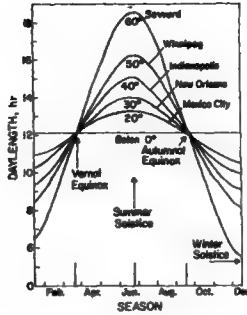
التزهير والاثمار

Flowering and Fruiting

يعد انتاج البذور احياناً الهدف الرئيسي في انتاج المحاصيل . ان انتاج البذور
حصيلة احداث فسيولوجية ومورفولوجية عديدة تؤدي الى التزهير والاثمار استجابة
للفترة الضوئية *photoperiod* (طول النهار) ودرجة الحرارة . وان استجابات
التزهير والاثمار لهذه العوامل البيئية كانت موضع بحث مكثف لمدة اكثر من
خمسون عاماً .

ادت الدراسات التي قام بها (1920 ، 1923 ، 1925) Garner and Allard
الى تشخيص الفترة الضوئية كعامل يهيئ ينظم التزهير . اما الدراسات
الحديثة فقد اوضحت بان طول الليل *nyctoperiod* بدلاً من طول النهار هو
العامل المحدد الفعلي في تنظيم استجابات النبات . وعند اعتراض فترة الظلام بفترة
ازاءة قصيرة ذات طاقة منخفضة يحصل تأثير النهار الطويل *long-day effect*
بينما اعتراض فترة الازاءة بفترة ظلام لم يؤثر على التزهير . وقد
اوضحت الدراسات الاخيرة التي قام بها علماء من وزارة الزراعة الامريكية
USDA بان صبغة الفايثوكروم *phytochrome* المستقبل للضوء هي
المنظمة للعمليات التكوينية مثل التزهير ووضوحاً كيف يستجيب الفايثوكروم
لنوعية الازاءة في الجزء الاحمر من الطيف . ان دور الاوراق الناضجة كموقع لانتاج
مخزن التزهير (الهرمون) وانتقاله وتحفيزه للمرسيمات كانت مواضيع لابعاث
عديدة منذ عمل الرواد الاوائل .

يحدد موقع العرض والوقت من السنة (زاوية الشمس) الفترة الضوئية ودرجة
الحرارة . وكلاهما يتغيران كثيراً من موسم لآخر ومن خط الاستواء الى القطبين .
وبالرغم من ان الفترة الضوئية ثابتة خلال السنة . الا انها قد تختلف بحوالي ٢٤
ساعة / يوم بين شهر حزيران وكانون اول (انقلاب الشمس الصيفي او الشتائي)
عند القطبين (شكل ١٣ - ١) .



شكل (١٢ - ١) التأثير الموسمي في طول النهار (من شروق الشمس الى غروبها) وعلاقته مع خطوط العرض
(Leopold and Kriedemann 1975)

ان الدور السائد للفترة الضوئية ودرجة الحرارة على التزهير والاثمار واخيراً على انتاج البذور يؤكد اهمية اختيار الصنف . هنا وان اصناف فول الصويا الحساسة للفترة الضوئية متكيفة لمدى ضيق من خطوط العرض . وحياناً لاتزيد عن ٢٠٠ - ٢٥٠ كم .

ان الماء والعناصر الغذائية والعوامل الاخرى هي التي تستطيع فقط تحوير او التأثير على الاستجابة للفترة الضوئية ودرجة الحرارة . ومن جهة اخرى يمكن انتاج بعض المحاصيل مثل الطماطة غير الحساسة للفترة الضوئية في اي خط عرض ضمن مدى واسع من درجات الحرارة .

التحول الى التزهير Transition to Flowering

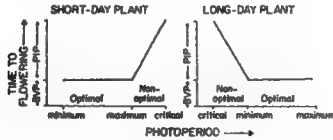
تنتج مرستيمات الساق اما اوراقاً او منشئات نورة زهرية *inflorescence* *primordia* اعتماداً على الفترة الضوئية ومدى التداخل مع درجات الحرارة . وتكون الانواع غير محددة النمو *Indeterminate* الاوراق اولاً . وفي بعض الانواع ينتج نفس البرعم الاوراق لولاً ثم تراكيب زهرية واوراق مرة اخرى . وفي

النباتات الحولية (وحيد الاثمار *monocarpic*) يؤدي تحول البرعم الخضري (انتاج الاوراق) الى التزهير وبالتالي الى توقف انتاج اوراق اخرى . ويعتقد بان التزهير في مثل هذه النباتات نهاية لمصادر الطاقة المتوفرة . ويموت النبات بعد حصول التزهير والاثمار . ويسمى مثل هذا النمو بالنمو المحدود *determinate* . فقد يستمر النمو الخضري بدون نهاية منفصلاً عن التزهير او يحصل معه بنفس الوقت . وتملك البراعم الجانبية غذاء احتياطي كافى لتجديد النمو الخضري اذا توقف انتاج الاوراق عند حصول التزهير في السيقان القديمة كما يحصل في الحنظل . او ان السيقان القديمة تستمر بالنمو كما في الاشجار . اما الانواع المحولة *Biennials* فانها تنتج نمو خضري (تورده *rosette*) عديم السيقان في السنة الاولى وسيقان وازهار وثمار في السنة الثانية . وهي طبيعية نمو وحيد الاثمار *monocarpic* مشابهة جداً لطبيعة نمو الانواع الحولية .

التزامن الضوئي *Photoperiodism*

ان اول من لاحظ تأثير طول النهار على التزهير هما Tournis في فرنسا و Klebs في المانيا في بداية القرن الحالي (Evans 1969) . وبالرغم من ان هذين الباحثين جاموا بالقرب من تميز التزامن الضوئي ، الا ان الاكتشاف الحقيقي يعود فضله الى عالمين امريكيين من وزارة الزراعة الامريكية USDA وهما W. W. Garner و H. A. Allard (1920 ، 1923 ، 1925) عندما عملاً بالقرب من واشنطن العاصمة . وقد استخدموا مصطلح التزامن الضوئي *photoperiodism* لتعريف استجابة النبات الى طول النهار . لقد كانت ملاحظتهم حول صنفين لمحصولين قصيري - النهار هما صنف تنغ 'Maryland Mammoth' وصنف فول الصويا 'Biloxi' من مجموعة النضج VIII . ولم ينتج نبات التنغ ازهاراً خلال موسم النمو في الحقل في خط عرض منطقة واشنطن . الا انه قد انتج ازهاراً في الخريف والشتاء عندما نقلت النباتات الى البيت الزجاجي . وقد ازهرت السيقان الابوية من النباتات القصيرة النامية في البيت الزجاجي في ايام الشتاء القصيرة الا انها بقيت في مرحلة النمو الخضري عند الانبات في الربيع عندما كانت الايام طويلة . وقد لاحظ Garner و Allard نباتات فول الصويا صنف 'Biloxi' النامية في الحقل حيث نضجت النباتات المزروعة في بداية الربيع الى منتصف الصيف تقريباً بنفس الوقت في الخريف وقد استنتجوا بان

صنف التبغ 'Maryland Mammoth' وصنف فول الصويا 'Biloxi' ازهرت استجابة لطول النهار تحمت طول نهار حرج معين وهي نباتات النهار القصير. short-day plants . وقد بينت ملاحظتهما حول عدد من الانواع بوضوح ان توافق الايام القصيرة والليالي الطويلة في دورة ٢٤ ساعة يشجع على التزهير في عدد من الانواع . بينما العكس يشجع التزهير في انواع اخرى . هنا وان بعض الاصناف غير حساسة لطول النهار . ومع ذلك فان النباتات الحساسة للمدة الضوئية لاتتطلب طول نهار معين لحصول التزهير . الا ان التزهير يكون مثالي في مدى واسع من طول النهار . وعادة تصبح النباتات اقل حساسية لمدة الضوء بتقدم العمر (شكل ١٢ - ٢) . ان طول النهار الأكثر من المثالي يؤخر تزهير نباتات قصيرة النهار لحين حصول طول نهار حرج . اما طول النهار الاكثر من الحرج فانه سوف يؤدي الى بقاء النباتات في مرحلة النمو الخضري . ويحصل نفس الشيء لنباتات النهار الطويل عندما تنمو في طول نهار أقصر من الطول الحرج حيث تبقى في مرحلة النمو الخضري . وان كلا النوعين من انواع المحاصيل اصبحت حساسة لظروف الحث الضوئي بعد اكمال المتطلبات لمرحلة النمو الخضري الاساسية basic vegetative phase (BVP) (Vergara and Chang 1976; Major 1980).



شكل (١٢ - ٢) نموذج عام لاستجابة النبات لطول النهار . (BVP) مرحلة النمو الخضري الاساسية
(PIP) مرحلة حث الفترة الضوئية (Major 1980)

وبالرغم من تعقيدات استجابة النباتات لمدى اطوال النهار والتداخلات العديدة مع العوامل البيئية الاخرى . فان التقسيم التالي الذي وضعه Hillman (1962) مفيد في فهم استجابات طول النهار لانواع المحاصيل والنباتات البرية .

١ - نباتات النهار القصير (Short-day plants (SDP يتحفز التزهير في هذه النباتات بطول النهار الأقصر من الحد الأعلى الحرج (الذي يختلف بين الأنواع والأصناف) وعادة تتأثر بالعوامل البيئية الأخرى مثل درجة الحرارة (1973 Kasperbauer). ويعد صنف التبغ 'Maryland Mammoth' وصنف فول الصويا 'Biloxi' والحسك cocklebur من الأمثلة التقليدية للنباتات النهار القصير. وبما أنها حساسة جداً لمدة الضوء لذا فإنها قد استخدمت في دراسات عديدة لمدة الضوء: *

٢ - نباتات النهار الطويل (Long-day plants (LDP يتحفز التزهير بطول النهار الأطول من الحد الأدنى الحرج (الذي يتأثر بالتركيب الوراثي والعوامل البيئية). ويعد صنف الشعير 'Winter' ونبات السكران الأسود black biennial (Hyoscyamus niger) وهي نباتات محولة أمثلة تقليدية لنباتات النهار الطويل وقد استخدمت بصورة مكثفة في أبحاث مدة الضوء.

٣ - نباتات النهار القصير - الطويل Short-long-day plants يتحفز التزهير في هذه النباتات بتعرضها مرات متتالية إلى النهار القصير قبل تعرضها إلى النهار الطويل. ويقع ضمن هذه المجموعة عدد من أنواع المناطق المعتدلة. والحشائش المعمرة (مثل حشيش البساتين orchardgrass) هذا وان استجابتها أكثر تعقيداً مما ذكر بسبب حاجتها لمدة باردة (تسريع التزهير vernalization) بين تعرضها للأيام القصيرة والطويلة (Gardner and Loomis 1953).

٤ - نباتات النهار الطويل - القصير Long-short-day plants (LSDP) يتحفز التزهير في هذه النباتات بتعرضها مرات متتالية إلى النهار الطويل قبل تعرضها إلى النهار القصير. ويعد نبات (Cestrum nocturnum) Night jasmine من نباتات النهار الطويل - القصير.

٥ - نباتات النهار المتوازن (محايدة) Day-neutral plants (DNP) ان التزهير في هذه النباتات غير حساس لمدة الضوء إلا أنه يرتبط بعامل العمر age factor. ويحصل عادة التزهير بعد وصول النبات حداً أدنى من العمر أو الحجم. وتعد نباتات الطماطة والهندباء Dandelion و buckwheat من نباتات النهار المتوازن. وان هذه الأنواع متكيفة لأي طول عرض ضمن مدى واسع من درجة الحرارة. وعلى سبيل المثال يمكن إنتاج صنف طماطة 'Big Boy' من

ولاية الميسبي الى كندا . وتوجد نباتات عديدة اصلها من المناطق الاستوائية ذات نهار متوازن الا ان بعضها يكون قصيرة النهار (مثل اصناف فول الصويا الاستوائية) .

وكما سبق ذكره فان تقسيم استجابة النباتات قد تم على اساس علاقة التزهير بطول النهار (مدة الضوء في دورة ٢٤ ساعة) . الا ان العامل المنظم الحقيقي هو طول مدة الظلام *nyctoperiod* بدلاً من طول مدة الضوء . هذا وان بعض النباتات لاتقع في اي قسم من هذه الاقسام . على سبيل المثال يعتبر عباد الشمس من نباتات النهار الطويل في المراحل الاولى من نموه الا انه يصبح غير حساس الى مدة الضوء بتقدم العمر .

وعموماً يمكن الافتراض بان المحاصيل والانواع البرية التي تزهر وتثمر في منتصف الصيف من نباتات النهار الطويل . وتلك التي تزهر وتثمر في الخريف من نباتات النهار القصير . وان المحاصيل الشتوية الحولية (الحنطة) والمحولة (البنجر السكري) وعدد من المحاصيل الحولية (حشيش البساتين) نباتات اجبارية النهار الطويل . ومع ذلك فان هذه النباتات تزهر فقط بعد تمجيل التزهير او تعرضها لفترة برد . وتعتبر النرة الصفراء والذرة البيضاء وفول الصويا من نباتات النهار القصير . وهناك تداخل كبير بين مديات النباتات النهار القصير ونباتات النهار الطويل .

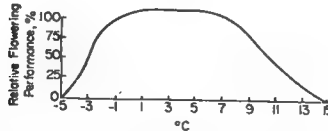
يمثل تقسيم او وضع استجابة تزهير اصناف فول الصويا المتكيفة لخطوط العرض الشمالية ذات ايام الصيف الطويلة مشكلة مشوقة . وتستطيع هذه الاصناف تزهير (مجموعة النضج 000.0) في ايام يكون فيها طول النهار من ١٦ - ١٨ ساعة بينما طول النهار الحرج للصنف "Biloxi" حوالي ١٢ ساعة . ومع ذلك . فان تقسيم او وضع اصناف اخرى غير نباتات النهار القصير مع مثل هذه الاصناف يكون غير صحيحاً لان التزهير يحصل بوقت مبكر او بايام اقل بنباتات ذات عقد قليلة عند تقليل مدة الضوء (على سبيل المثال من ١٦ الى ٨ ساعات) .

التزامن الحراري (تمجيل التزهير)

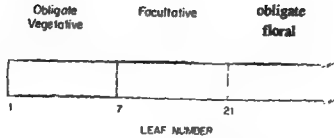
Thermoperiodism (Vernalization)

بالرغم من ان درجة الحرارة بشكل عام تحور او تغير استجابة الانواع او الاصناف لمدة الضوء (Thomas and Raper 1982) . فقد وجد بان عدد من الانواع يحتاج الى مدة من ٢ - ٦ اسابيع من درجات الحرارة المنخفضة او القربية من الانجماد (١٠°م او اقل) لاجل حصول التزهير تحت مدة ضوء طويلة في الربيع (Lang . 1951) (Schwabe 1957) . وتسمى معاملات البرودة هذه بتمجيل أو تنشيط التزهير *vernalization* ، وهي عادة فعالة بين ٢ و ١٠°م (شكل ١٢ - ٣) . وان استجابة النباتات المعرضة للبرودة تكون استجابة كمية (مطلقة) سواء حدث التزهير ام لم يحدث . ويجب ان تكون مدة التعرض للبرودة من عدة ايام الى عدة اسابيع وذلك اعتماداً على النوع . وتتطلب انواع النباتات الحولية الشتوية والمحولة وعدد من النباتات المعمرة ذات المناطق المعتدلة الى تمجيل التزهير لاجل حصول التزهير . ويتطلب عدد من بذور وابصال وبراغم الانواع ذات المناطق المعتدلة التنضيد او التطبيق *stratification* (عدة اسابيع من البرودة والرطوبة) لكسر السكون وتحفيز النمو (انظر الفصل التاسع) .

ان تمجيل التزهير يعني عمل يشابه الربيع اي تشجيع التزهير استجابة لطول النهار خلال الربيع . ان استجابة محاصيل الحبوب الصغيرة الشتوية مثل الحنطة والشيلم مشابهة لاستجابة انواع الربيع بعد تمجيل التزهير وكلاهما يزهر في مدة ضوئية طويلة بعد انتاج سبعة اوراق كحد ادنى - (Purvis and Gregory 1937) ان تكوين النورة الزهرية في قمة ساق الشيلم يكون استجابة لتمجيل التزهير كما يلي (شكل ١٢ - ٤) .



شكل (١٢ - ٤) نموذج عام لاستجابة النبات الى درجة الحرارة خلال تمجيل التزهير .



شكل (١٢ - ١) تكوين ازهار الشيلم الشتوي وعلاقة ذلك بمحفزات تمجيل التزهير . وتكون الانواع المحثة والرئيسية اجبارية النمو الخضري لمرحلة سبعة اوراق ، وتستجيب للتزهير بعد سبعة اوراق اذا حثت (تمجيل التزهير) في حالة الانواع الشتوية . وتكون اجبارية على التزهير بعد مرحلة ٢١ ورقة (Purvis and Gregory 1937) .

- ١ - منشآت قمة الساق من واحد الى ٧ سبعة اوراق **plastochrons** إجبارية .
 - ٢ - منشآت ٨ الى ٢١ تكون اختيارية اي انها قادرة على تكوين أما تراكيب ورقية او زهرية اعتماداً على شدة تمجيل التزهير .
 - ٣ - منشآت رقم ٢١ واكثر اجبارية على تكوين الازهار .
- لقد تم انتخاب الاصناف الحديثة مثل المحاصيل المحولة كالبنجر السكري والكرفس **celery** ذات احتياجات عالية لتمجيل التزهير بسبب ان السيقان المنتجة للنورات الزهرية في السنة الاولى غير مرغوبة في المحصول التجاري . وقد انتجت الانواع الحولية (التي تزهو بدون الحاجة الى تمجيل التزهير) مثل البنجر السكري المحول ونبات السكران الاسود والبرسيم العلو .

موضع تمجيل التزهير LOCUS OF VERNALIZATION

- تبين الدلائل بان تحفيز البرودة يكون في المرستيمات او البراعم بدلاً من الاوراق . وهي اربعة ظواهر وكما يلي ،
- ١ - يحصل تمجيل التزهير في البنور المتشربة بسهولة
 - ٢ - يكون تعريض الاوراق او الجذور او السيقان فقط الى البرودة غير فعال
- (Salisbury 1963) .
- ٣ - يحصل تمجيل التزهير احياناً للبنور وهي لا تزال على النبات الام في مرحلة التكوين عند استمرار البرودة قبل جفافها .

٤ - النباتات الناتجة من براعم عرضية من اوراق عرضت لتعجيل التزهير تكون قد حفزت لانتاج الازهار (Wellensiek 1962)

فقد تعجيل التزهير LOSS OF VERNALIZATION

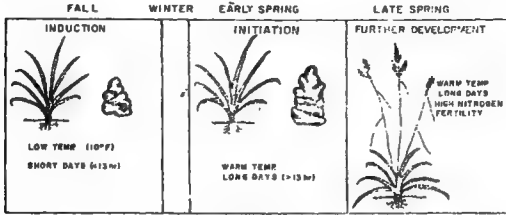
يمكن ان يفقد تعجيل التزهير في البنور عند تعرضها الى ظروف غير ملائمة مثل الجفاف او درجات الحرارة العالية (٣٠ - ٣٥ م) لعدد من الايام (Purvis and Gregory 1937; langad Melchers 1947) ومن الصعب التوفيق بين هذه النتائج والتطبيقات الزراعية التي يؤيدها Lysenko في الاتحاد السوفيتي لتعجيل التزهير في محاصيل الحبوب الشتوية وحفظها للزراعة الربيعية. ويبدو ان حفظ البنور في حالة جافة سوف يؤدي الى فقد تعجيل التزهير. وعلى اية حال ان تطبيق Lysenko لم يستمر في اي مكان في العالم ربما بسبب توفر الاصناف الربيعية المتكيفة.

ان تعجيل التزهير في بعض الحشائش المعمرة يكون اكثر تعقيداً فعلاوة على حاجتها الى درجات منخفضة فان وجود مدة ضوئية قصيرة ضروري لمثل هذه الانواع (Peterson and Loomis 1949; Cooper 1950). ويحصل حث التزهير في نباتات حشيش البساتين بصورة طبيعية في ١٥ تشرين ثاني في مدينة أيمز Ames في ولاية ايوا (تقع على خط عرض ٤٢ شمالاً) (Gardner and Loomis 1953). لم يلاحظ حاجة النباتات المحولة والحولية الشتوية الى مدة ضوئية قصيرة مع درجة حرارة منخفضة. اي انها تحتاج الى البرودة فقط لاجل حث التزهير في مثل هذه الانواع.

التزهير Flowering

حث الازهار FLORAL INDUCTION

لقد ميز Loomis و Gardner ثلاثة مراحل واضحة في تزهير حشيش البساتين ليكل تحتها متطلبات ضوئية وحرارية واضحة (شكل ١٢ - ٥).
١ - حث الازهار ، ان انتاج محفز التزهير (تغير كيميائي في قمة الساق) استجابة لدرجات الحرارة المنخفضة (لاتساعد على النمو) وللأيام القصيرة في الخريف.



شكل (١٢ - ٥) العلاقة بين تزهير حشيش البساتين ودرجة الحرارة والفترة الضوئية الموسمية
(Gardner and Loomis 1953)

٢ - نشوء الأزهار. *Floral initiation*. تحول الاجزاء الخضرية المحيطة مورفولوجياً الى منشآت الازهار استجابة الايام الطويلة الدافئة المعتدلة في الربيع .

٣ - تكوين الازهار اللاحق : نمو وتكوين منشآت الازهار الى ازهار ناضجة ونورات زهرية استجابة للايام الطويلة ودرجات الحرارة الدافئة المعتدلة في الربيع (تشجع ايضاً بالتسميد التتروجيني العالي) .

لم ينتقل محفز التزهير في حشيش البساتين المنتج في السيقان المعرضة الى ظروف الحث الى الاشطاء التي لم تتعرض الى درجات حرارة منخفضة او ايام قصيرة بالرغم من وجود اتصال عضوي (شكل ١٢ - ٦) .

ان حقيقة تزهير الاشطاء المعرضة للضوء فقط وعدم تزهير الكثير من الاشطاء المخفية بين اغصان الاوراق يدعم النظرية القائلة بان الاوراق هي عضو استلام فترة الضوء .



شكل (١٢ - ٦) تأثير الفترة الضوئية على نباتات حشيش البساتين (النبات الوسطى مقسم الى جزئين) .
السيقان الى اليسار عرضت الى درجات حرارة باردة وفترة إضاءة لمدة ٩ ساعات (وهي بيئة تشجع حث
التزهير) . السيقان الى اليمين عرضت الى درجات حرارة باردة وفترة إضاءة ١٨ ساعة خلال فترة الحث . وقد
تكونت الأزهار بعد تحويل النباتات الى أيام طويلة خافتة . وإن كل سندانة (إس) تمثل نبات فردي ذو

أنطواء عديدة (Gardner and Loomis 1953)

ان استجابة المراحل الثلاثة عادة غير واضحة في التزهير في اغلب الدراسات .
هذا بالرغم من انها من المحتمل ان تكون شائعة بين الانواع وعادة يكون التأكيد
على انتاج محفز التزهير (حث الأزهار) وتكوين الأزهار (floral
expression) . ان اغلب الدراسات التقليدية للنشريح المجهرى لبراعم نباتات فول
الصويا والحسك توضح التغيرات المورفولوجية الاولى المسماة نشوء الأزهار . ان
متطلبات الحث على الأزهار ونشوء الأزهار متساوية في نباتات النهار القصير مثل
فول الصويا بالرغم من ان هاتين المرحلتين غير منفصلتين كما في حشيش
البساتين . ويبدو أن متطلبات نشوء الأزهار وتكوين الأزهار تختلف في فول
الصويا . حيث يبدأ نشوء النورات الزهرية بعد الحث تحت الايام الطويلة . الا ان
الاوراق تجهض aborted (تسقط) اذا بقيت النباتات تحت الايام الطويلة
بعد نشوء الأزهار (Fisher 1962) .

وبمساعدة المجهر لتكبير شرائح منشآت الأزهار تم توضيح مراحل تكوين الأزهار في الحنك (Salisbury 1955) وفول الصويا (1938 and Parker Borthwick) والبرغل (lambquarters (Kasperbauer et al. 1964) انتجت النباتات قصيرة النهار المحثة ضوئياً منشآت الأزهار الايام الطويلة . هذا وتنعكس درجة الحث في درجة و/او معدل تكوين الأزهار . وكما ذكرنا مسبقاً . ان فول الصويا يجهض ازهاراً وثماراً عند نموه في ايام طويلة (٢٠ ساعة ضوء) بالرغم من الحث الضوئي تحت فترات ضوئية قصيرة (Fisher 1962) . وبالتالي فان التشريح المجهرى وتحديد مراحل تكوين نشوء الأزهار ضروري لدراسة حث الأزهار في نباتات النهار القصير مثل فول الصويا .

ان بقاء النباتات تحت ظروف النهار القصير سوف يسبب النشوء ولكن سوف يزيد ايضاً من انتاج مخفر حث التزهير .

الحد الأدنى للعمر Minimum Age

ان اغلب الانواع لا تستجيب للمدة الضوئية خلال مراحل النمو الاولى من مرحلة النمو الخضري. لذا يتطلب حصول حد ادنى لعمر وحجم ومرحلة تكوين النبات حتى يستجيب الى المدة الضوئية . وتسمى مرحلة الحداثه juvenile بمرحلة النمو الخضري الاساسية basic vegetative phase (BVP) (Chang 1976) وبعد تكوين مرحلة النمو الخضري الاساسية يدخل النبات مرحلة حث - المدة الضوئية (PIP) photoperiod-induced phase (شكل ١٢ - ٢) . والتي تسمى في المصادر القديمة بمرحلة النضج للأزهار "ripeness to flower" وعادة يتم توضيح الحد الأدنى لمرحلة النمو الخضري الاساسية بعدد الاوراق بدلا من حساب العمر بالوقت chronological . هنا ويتباير المقاييس كثيراً بين الانواع والاصناف المختلفة (جدول ١٣ - ١) . وتعتبر مرحلة النمو الخضري الاساسية لاغلب انواع الاشجار هي خمسة سنوات او اكثر ولا يستجيب نبات القرن century plant لبيئات الحث الضوئي حتى يصل عمره ما بين ١٠ و ١٢ سنة بينما تستجيب الطرز البيئية المختلفة لنبات (Chenopodium rubrum) للمدة الضوئية خلال انفتاح الفلقتان عند الانبات (جدول ١٢ - ١) . ويبدو ان النضج الى الأزهار هي المتطلبات الوحيدة لتزهير نباتات النهار المتوازن .

إن هذه النباتات لا تستجيب لطول النهار وتزهر فقط بعد اكمال مرحلة النمو الخضري الاساسية أو الحد الأدنى للعمر . إن الحد الأدنى لعدد الاوراق التي يجب أن تتكون قبل التزهير غير ثابتاً بصورة دائمة لنوع وصنف معين . ويؤدي نقص العناصر المعدنية إلى خفض أو تقليل عدد الاوراق من ورقة إلى ورقتين (Holdsworth 1956) بعد عدد الاوراق بدلاً من المساحة الورقية العامل الاساسي المؤثر على استجابة النبات للحث إلى المدة الضوئية . فقد اوضحت دراسات المدة الضوئية على أنواع جساسة جداً بأن ورقة واحدة ذات عمر كافى من نباتات مسقطه اوراقها تبقى بالفرض لاستلام المدة الضوئية . فقد وجد بأن مساحة ورقية مقدارها ٢ إلى ٣ سم^٢ في نبات الحسك فعالة على نباتات مقطوعة الاوراق في مرحلة حث المدة الضوئية . ولكن كانت مساحة ٩.٢ سم^٢ من سطح الفلق غير فعالة كلياً اذا لم يعبر النبات مرحلة النمو الخضري الاساسية .

دورات الحث الضوئي Photoinduction Cycles

يحدث حث التزهير (انتاج محفز التزهير) استجابة إلى عدد معين من دورات الحث الضوئي . ويختلف العدد الأدنى للصورات المطلوبة باختلاف نوع النبات والصنف والعمر والحجم . وبعد توفير العدد الأدنى لدورات الحث الضوئي تزداد كثافة التزهير (ايام قليلة للوصول إلى التزهير) مع التعريض الاضافي حتى الوصول إلى مستوى التشبع . أي إن الاستجابة كمية وليست مطلقة . ادت مدة ظلام مقدارها ٨.٥ ساعة أو أكثر إلى حث التزهير في نبات الحسك حتى عند نمو النباتات بعد ذلك تحت ايام طويلة (Hamner 1938; Salisbury 1963) . وكانت مدة ظلام واحدة مكونة من ٨.٣ ساعة غير كافية لحث التزهير وبقيت هذه النباتات في مرحلة النمو الخضري . ادت درجات الحرارة (٥° م) إلى زيادة طول مدة الظلام الدنيا من (٢ - ٣ ساعة) . وادت مدة ظلام اطول إلى زيادة كثافة التزهير في نباتات قصيرة النهار إلى مستوى التشبع ، الذي حصل عند ١٢ - ١٥ ساعة (1940 Mann). واطهرت الابحاث الاخرى استجابة مستوية أو مستقرة عند مدى من مدد ضوئية مثالية لنباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير (Major 1980) . ولم تكن دورة حث ضوئية فردية كافية لصنف فول الصويا 'Biloxi' . وكانت سبع دورات مثالية للحث ، اما الزيادة عن ذلك فليس له اية فوائد (Biloxi and Parker 1938) . وتطلب النباتات الأقل حساسية دورات حث ضوئية أكثر للتزهير من النباتات الحساسة وتعتبر فترة ذات شدة اضاءة عالية ضرورية قبل وبعد

فترة الظلام (Mann 1940; Lang 1952) . وكانت على الأقل اربع ساعات من الضوء ضرورية قبل فترة الظلام الطويلة بدرجة حرارة ١٠°م . بينما يتطلب ٣٠ دقيقة عند درجة حرارة ٣٠°م (Lang 1939) .

كسر الظلام Night Breaks

يعتبر طول مدة الظلام وليس طول النهار العامل المؤثر في المدة الضوئية ويمكن توضيح ذلك بحقيقة ان اي اعتراض بسيط جداً لمدة الظلام الابيض او الاحمر يلغي تأثير طول مدة الظلام (Lang 1952) . وقد ادى اعتراض الظلام قرب منتصف مدة الظلام بحوالي دقيقتان من شدة اضاءة منخفضة (Salisbury 1963) أو حتى لمدة قليلة ١٢ ثانية الى إنتاج تأثير الايام الطويلة على النباتات ذات النهار القصير مثل الحسك وفول الصويا (جدول ١٢ - ٢) . حيث بقيت النباتات في مرحلة النمو الخضري . ومن جهة اخرى نجد بان نباتات النهار الطويل قد تحفزت على التزهير بكسر مدة الظلام كما كان متوقماً (Borthwick and Parker 1938) . وكان اعتراض مدة الظلام أكثر فعالية اذا حدث بعد ٨ ساعات الاولى من الظلام في ليالي اطوالها ١٠ أو ١٣ أو ١٦ او ٢٠ ساعة . وكان كسر مدة الظلام اقل فعالية قبل ٣ - ٤ ساعة او بعد ١٦ - ٢٠ ساعة من الظلام .

وبما ان فترة الظلام في الطبيعة لا تعترض بالضوء فان الاهمية البيئية لهذه النتائج معرضة للتساؤل . ان ضوء القمر حوالي ٠.٣ شمعة - قدم (١٤ واط / م^٢) وهي ذات طاقة قليلة جداً ومن اطوال موجات الضوء الاحمر . الا ان حقيقة كسرة مدة الظلام لفترة قصيرة يعطي نتائج مكافئة للايام الطويلة يشابه زيادة النهار الطبيعي بساعات ضوء اكثر وهو تطبيق جيد لحفظ الطاقة في اضاءة البيوت الزجاجية التجارية .

نوعية الضوء Light Quality

تتأثر المدة الضوئية بالطاقة الضوئية المتولدة من الضوء الاحمر (R) والضوء تحت الاحمر (FR) التي هي جزء من طيف الشمس . ان أكثر نوعية ضوء فعالية في كسر مدة الظلام والاستجابة للمدة الضوئية هو الضوء الاحمر (٦٠٠ - ٦٨٠ نانوميتر) الا انه يمكن عكس تأثير الضوء الاحمر اذا تبع كسر الظلام بالضوء الاحمر ثم يتبع مباشرة الى ضوء اخر . لضوء اخر يحوى على الضوء تحت الاحمر FR في مدى ٧٠٠ - ٧٥٠ نانوميتر (Parker et al. 1946; Downs 1956) . (جدول ٤٧٤

(١٢ - ٢) . وعند عدم المعاملة بالضوء تحت الأحمر مباشرة بعد كسر الظلام بالضوء الأحمر فلا يحدث تأثير طول الظلام أو انعكاس التأثير (Downs 1956) . لقد أوضح الباحثين في مدينة بيلستفيل في ولاية ماريلاند بأن الحساسية للضوء المقترض لفترة الظلام يعتمد كثيراً على نوع الاضاءة وإلى درجة اقل على مستوى الطاقة (شكل ١٢ - ٧) . ويمكن تلخيص تأثير عمل الطيف على التزهير كما يلي (P_r = تأثير اليوم الطويل P_n = تأثير اليوم القصير) . الضوء الأحمر / بين ٦٠٠ - ٦٨٠ نانوميتر . امتصاص عالي للفايتوكروم وفعال بمستويات طاقة واطئة . الضوء الأزرق ، بين ٣٨٠ - ٥٠٠ نانوميتر وفرونها عند ٤٤٥ نانوميتر . إمتصاص منخفض للفايتوكروم . فعال بمستويات طاقة واطئة او عالية (١.٧ م واط / سم^٢) وعكس الفايتوكروم وحصول توازن للـ P_n عند ٣٥٪ في ثمانية دقائق .

الاشعة تحت الحمراء ، بين ٧٢٠ - ٧٥٠ نانوميتر والفرقة عند ٧٣٥ نانوميتر إمتصاص عالي للفايتوكروم فعال في انتاج P_r (تأثير الظلام) . وان تأثير التعريض للاشعة تحت الحمراء FR مشابهة للاشعة الحمراء R اذا كان وقت التعريض طويل (طاقة كبيرة) .

ويمكن تلخيص تأثير نوعية الاضاءة على تكوين الفايتوكروم (P_r و P_n) بالمخطط التالي :



حيث ان P_r و P_n هي اشكال الفايتوكروم الاحمر R وتحت الاحمر FR على التوالي . يشبط فايتوكروم P_n التزهير في نباتات قصيرة النهار (SDP) ويشجع التزهير في نباتات طويلة النهار LDP . ويشجع انبات البذور التي تحتاج الى الضوء وبعض العمليات التكوينية الاخرى . هذا وان فايتوكروم P_r اكثر ثباتاً وفعالاً بايولوجياً من فايتوكروم P_n .

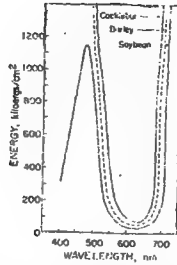
وفي الظلام يُعكس Pfr الى Pr اعتماداً على معدل درجة حرارة معينة والذي يحفز التزهير في نباتات النهار القصير ويثبطه في نباتات النهار الطويل . وكانت استجابة صنف الشعير 'Wintex' (من نباتات النهار الطويل) للضوء الاحمر بمستويات طاقة منخفضة عكس استجابة الحسك وفول الصويا (من نباتات النهار القصير) . ويؤدي كسر الظلام بالضوء الاحمر الى تشجيع تزهير الشعير وتثبيط تزهير الحسك وفول الصويل (Borthwick et al. 1956) (شكل ١٢ - ٧) . اما تعريض النباتات لمدة قصيرة للضوء تحت الاحمر مباشرة بعد تعرضها للضوء الاحمر فيعكس تأثير الضوء الاحمر في كلا نباتات النهار القصير والطويل والذي يوضح بأن نفس الصبغة تُنظم التزهير في كلا النوعين .

يمكن توسيع طول الايام الطبيعية بفعالية باستخدام ضوء ابيض (خليط من اطوال موجات مختلفة) من مصباح فلورى fluorescent lamp او مصباح متوهج incandescent lamp حيث ان كلاهما يعطيان الاشعة الحمراء بمستوى طاقة كافية لاستجابة الفايتوكروم . وتعد المصابيح المتطورة حديثاً الحاوية على الصوديوم metal halide اكثر كفاءة في طاقة الضوء الاضافي وقد تم تقييم فعاليتها في اضاءة البيوت الزجاجية .

العوامل المحورة للحث الضوئي Factors Modifying Photoinduction

ينظم تأثير المدة الضوئية على حث التزهير بدرجة الحرارة اكثر من العوامل البيئية الاخرى (Thomas and Raper 1982) . وتؤدي درجة الحرارة المنخفضة (١٠°م) الى زيادة طول المدة الحرجة لفترة الظلام من ٢ الى ٣ ساعة Long (1939) . والذي كان متوقعاً بسبب ان معدل عكس الظلام من P_r الى P_{fr} يعتمد على درجة الحرارة .

وقد تأثرت طول المدة الحرجة لمدة الظلام بعمر الورقة في الحسك وفول الصويا (Fisher and Loomis 1954) . تشجع الاوراق الناضجة التزهير في فول الصويا بينما تثبطها الاوراق غير الناضجة . ويحدث التزهير عندما تصبح النسبة بين الاوراق الناضجة وغير الناضجة ملائمة . ويعود التثبيط الى مستوى الاوكسين العالي في الاوراق غير الناضجة . وذكر Leopold (1958) بأن زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الجو يقلل طول المدة الحرجة لمدة الظلام .



شكل (١٢ - ٧) الطيف الضوئي في تثبيط نشوء الأزهار في الصنك وفول الصويا (أقصى فعالية ٦٦٠ نانومتر) وتشجيع التزهير في الصنك صنف 'Wintex' (٦٦٠ نانومتر). تبين التحنيت الطاقة المطلوبة في منتصف طول فترة الظلام لتثبيط أو تشجيع التزهير في فول الصويا والصنك. على التوالي - عند ٦٥٠ نانومتر تؤدي جرعات الطاقة القليلة جداً التي تكسر الظلام أثناء الليل إلى تثبيط التزهير في الصنك وفول الصويا (Parker et al. 1946; Borthwick et al. 1956)

محفز التزهير. Flowering Stimulus.

منذ اكتشاف المدة الضوئية ثم توقع وجود مرسل كيميائي 'chemical messenger' أو محفز stimulus الذي يعطي إشارة للانتقال من النمو الخضري إلى التزهير.

واضح (Garner and Allard 1925) بأن الأوراق هي عضو استلام محفز المدة الضوئية. وربما يكون الدليل القوي المؤيد لنظرية هورمون التزهير هو العمل التقليدي الذي قام به Chailakhyan سنة ١٩٣٦ مع نبات الـ *chrysanthemum* (من نباتات النهار القصير).

أدى إزالة البراعم الطرفية وأوراق العلوية إلى ابتداء تكوين الأزهار تحت الأيام الطويلة إذا عرضت الأوراق السفلية لأيام قصيرة وقد اقترح بأن المحفز الذي ينتج في الأوراق السفلية تحت الأيام القصيرة ينتقل إلى البراعم الطرفية المعرضة للأيام الطويلة. وسمى الهرمون أو مركب التزهير فلوريجين *florigen* واقترح بأنه ينتقل بالعاء أو القشرة. ولم يتم إلى حد الآن عزل وتشخيص الفلوريجين أو المركب الذي افترض بأنه ينتج من عملية تعجيل التزهير الذي سمي *vernalin*

(Lang 1952) لذا فان وجودها قد اشتق أو استخلص من نتائج الابحاث . ومن المحتمل بأن المركبين هما نفس المركب الكيميائي .

جدول (١٢ - ١) طول فترة النمو الخضري (الحد الأدنى للعمر) للوصول الى التزهير

النوع	الحد الأدنى للعمر
الحسك	cocklebur ٨ ورقة
فول الصويا	Soybean ٦ أسابيع من العمر
التبغ	Tobacco ٦ أوراق
الرغل	Perilla ١٥ يوم
	Lambsquarters ٣,٥ يوم
	Bamboo ٣ - ٥ يوم
	٥ - ٥٠ سنة
الحنطة والحب	Wheat, Rye بذرة رطبة في درجات حرارة باردة
الصنوبر	Pine ٥ سنة
دغل الخنزير	Pigweed ٣٠ يوم دورة من يومين قصيرين
نبات القرن	Century plant ٥ - ٢٠ سنة / شيخوخة وطبيعة نمو حولية بعد التزهير
النفل العلو	Sweet clover تزهى النباتات القديمة والكبيرة فقط في ١٠٠ يوم
	تحت أيام ذات ١٦ - ساعة اضاءة
الرز	Rice ٦٠ - ٨٧ يوم

لقد تم تأكيد انتقال مركبات التزهير في تجارب وضعت فيها سويقات اوراق فول الصويا المحشة ضوئياً بدرجات حرارة منخفضة (٣° م) والتي منع فيها انتقال محفز التزهير الى البراعم (Borthwick et.al. 1941) . وقد ازهرت النباتات غير المحشة عندما طعمت عليها اوراق محشة ضوئياً . وهذا يساند نظرية هورمون التزهير او مركبات اخرى تنتقل من الاوراق الى منطقة التزهير (Lang and Melchers 1949) . وبالرغم من حقيقة ان التبغ نبات قصير النهار فقد ادى تطعيم جزء من نبات السكران الاسود (black henbane) (وهو من نباتات النهار الطويل) الذي قد حث بايام طويلة قبل اجزاء التطعيم الى نشوء التزهير في نبات التبغ .

جدول (١٢ - ٢) تأثير الاعتراض اليومي لفترة الظلام بعدد من الاشعاع الاحمر (R) المتلاحق او تحت الاحمر (FR) بالتعاقب على نشوء الازهار لنبات الصبك (Xanthium) وقول الصويا .

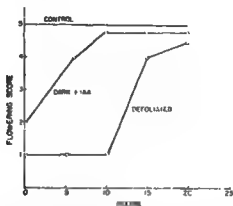
المعاملة	متوسط مرحلة تكوين	متوسط عدد العقد الزهرية في صنف قول الصويا «Biloxi»
المقارنة . ظلام	٦.٠	٤.٠
R	٠.٠	٠.٠
FR, R	١.٦	٥.٦
R, FR, R	٠.٠	٠.٠
FR, R, FR, R	١.٢	١.٠
R, FR, R, FR, R	٠.٠	٠.٠
FR, R, FR, R, FR, R,	٢.٨	٠.٦

المصدر : Waring and Phillips
« المراحل من ١ الى ٢ الحد الأعلى للتكوين

Chemical Antagonism and Promotion المضادات والمشجعات الكيميائية

اوضح Salisbury (1955) بأن حامض الاندول خليل (IAA) مضاد لحث التزهير في نباتات قصيرة النهار (شكل ١٢ - ٨) ان حامض الاندول خليك يتعارض مع فترة الظلام (Salisbury and Bonner 1956) . ويمكن للتركيزات العالية ان تثبط التزهير في نباتات طويلة النهار بالرغم من المعرفة بأن الاوكسينات تشجع التزهير في بعض الانواع (Liverman and Lang 1956; Leopold and Thimann 1949) وتعتبر معاملة رش الاوكسين (مثل 2,4-D) لتشجيع التزهير في الاناناس تطبيق شائع الاستعمال (Clark and Kerns 1942) . ويبدو ان التأثير المضاد للاوكسين يعتمد على وقت المعاملة وعلاقته باكمال الحث الضوئي وفعالية انتقال المحفز . وقد يثبط الاوكسين نشوء التزهير عندما يضاف قبل إنتاج وانتقال كمية كافية من المحفز ويشجع الاوكسين التزهير اذا اضيف بعد وقت كافى لانتقال كمية كافية من المركب المحفز للتزهير (Salisbury 1955) .

يفترض بأن الأوراق الحديثة في فول الصويا تثبط التزهير حتى يتم إنتاج كمية كافية من الأوراق الناضجة . أي حتى تكوين نسبة ملائمة من الأوراق الناضجة الى الأوراق غير الناضجة (Fisher and Loomis 1954) . وتعتمد البراعم والأوراق الحديثة غنية بالأكسين .



شكل (١٢ - أ) حث التزهير في المسك الناتج من IAA ومعاملات إزالة الأوراق بعد دورات الحث الضوئي .
(ضيف إل. IAA خلال مرحلة الظلام الثانية 1982 Lockhart and Hamner)

وبعكس الأكسينات فإن الجبريلينات تشجع التزهير عادة . ويمكن ان يحل حامض الجبريليك محل جميع او جزء متطلبات عدد دورات الحث الضوئي وفترات البرودة . وتحث الجبريلينات التزهير في بعض الانواع الاستوائية التي يعتقد بأنها غير حساسة للمدة الضوئية . وادى معاملة الحسك بالجبريلينات الى تكوين الازهار في المراحل الاولى من النمو Greulach and Haesloop 1958 . وقد استنتج من هذه البيانات بأن الجبريلينات لاتحل بدل الايام القصيرة لكنها تحل محل دورات الحث الضوئية الاضافية منتجتاً تأثير كمي . وتحل الجبريلينات بصورة كاملة محل متطلبات البرودة لحث التزهير في نبات السكران الاسود ولكنها لاتحل بدل متطلبات النهار الطويل . ومع ذلك فيمكن استخدامها لنشوء الازهار بعد الحث (Wittwer and Bucovac 1958) . وتحل الجبريلينات محل متطلبات النهار الطويل في بعض الانواع الشتوية الحولية وهي شائعة في مقدراتها على تغير تكوين الجنس في بعض النباتات احادية المسكن *monoecious* النباتات التي تكون فيها تراكيب الازهار الانثوية والذكورية في ازهار منفصلة على نفس النبات .

نشوء الازهار FLORAL INITIATION

يسمى التحويل الشكلي (المورفولوجي) للمرستيم في حالة النمو الخضري الى حالة التزهير، نشوء الازهار. وفي دراسات التزهير حظي نشوء الازهار على اهتمام اقل من حث الازهار وذلك جزئياً بسبب حقيقة ان للمرحلتين متطلبات بيئية متشابهة، مما يجعل التمييز بينهما صعباً ان لم يكن مستحيلاً. ومع ذلك، فان مرحلة الحث والنشوء في حشائش المناطق المعتدلة عادة منفصلة وتتطلب مدد ضوئية ودرجات حرارة مختلفة. وهي تفصل طبيعياً بموسم الشتاء (شكل ١٣ - ٥).

وكما في النباتات المحولة biennials والحولية الشتوية يحدث نشوء الازهار في الايام الطويلة. حيث ان الايام الطويلة مطلوبة لاجل نشوء الازهار. وبعد حث نبات الحسك (نباتات النهار القصير) تنشأ الازهار مباشرة تحت الايام الطويلة (Salisbury 1963). وتنشأ النورة الزهرية في الايام الطويلة بعد ٢ - ٨ دورات حث ضوئية الا ان فول الصويا يفشل في تكوين الازهار عندما ينمو بعد هذه المعاملات تحت ايام طويلة (Hamner 1969). وبصورة عامة تعتبر حساسية تكوين الازهار اللاحق للمدة الضوئية اقل حساسية لحد ونشوء الازهار، وهي مراحل التحويل الكيمياوي والشكلي على التوالي.

تكوين الازهار اللاحق FURTHER FLORAL DEVELOPMENT

قد لا يكون ضرورياً تكوين الازهار اللاحق (يعبر عنه بتكوين الازهار المرئية) في ظروف ملائمة للحد والنشوء (Hamner 1969). ولها فان الاستجابة الى المدة الضوئية غالباً ما سجلت عند نشوء النورة الزهرية بمشاهدتها تحت تكبير واطيء. وقد انتجت نباتات حشيش البساتين بوقت ابتداء نشوء الازهار بضعة نورات زهرية غير طبيعية تحت ٩ ساعات اضاءة في اليوم لكنها ازهرت بفزارة تحت طول ايام الربيع الطبيعية او ٢٠ ساعة ضوء باليوم في البيت الزجاجي (Gardner and Loomis 1953). وتجهض ازهار بعض اصناف فول الصويا وتفشل في عقد الثمار تحت ايام طويلة (٢٠ ساعة ضوء) (Fisher 1962). بسبب فشل التزهير. وتجهض عادة النورات الزهرية في حشيش البساتين المتكونة في ظروف ٩ - ساعات ضوء في اليوم قبل بزوغها من اغصدة الاوراق وتكون ذات حامل طويل غير طبيعي. وكان النشوء اكثر حساسية للايام القصيرة من التكوين اللاحق للازهار لذا فقد كان

تأثير اليوم - الطويل نوعي (مطلق) . وفي الحشائش يلائم التسميد النتروجيني انتاج السنبلة خلال الربيع . وقد يحصل تنافس بين النورات الزهرية على النتروجين في غياب تكوين السنبلة .

الثمار Fruiting

تعرف الثمرة بأنها مبيض ناضج . والبنور عبارة عن بويضات مخصبة . وفي الثمار اللحمية *fleshy fruits* ، كتلك التي تستهلك على المائدة تكون البنور فيها غير مرغوبة او ذات اهمية قليلة جداً . اما في اغلب المحاصيل فان البنور تعد الناتج النهائي المرغوب وعادة ليس للثمار اية اهمية عملية . وتتكون ثمار الحشائش (البرة *caryopses*) من بنور فردية جافة . وفي المصطلحات الزراعية تعتبر ثمار الحشائش بذوراً (انظر الفصل التاسع عشر) .

يعد عادة التلقيح المحفز لنمو الثمار والاحصاب المنبه لنمو البويضة وتكوين الثمار تحت تأثير هورمونات النمو (Nitsch 1952, 1953) . وفي بعض الحالات يمكن ان تتطور الثمار الى النضج بدون احصاب او تكوين بذور (اثمار اللالقاحي *parthenocarpy*) . وفي بعض الحالات يمكن ان يحدث تكوين الثمرة بدون تلقيح ، وهو من انواع الاثمار اللالقاحي غير الشائع . وتشمل الاهمية البيئية لتكوين البنور على ثلاثة مراحل هي انتشار البنور وحث أليات سكون البنور وتغذية وحماية البادرات خلال نموها وتثبيتها .

ان أليات تكيف إنتشار الثمار او البنور متعددة . فهي تتراوح من الثمار او البنور اللحمية الى تلك الحاوية على الاجنحة . وغالباً ماتكون أليات سكون البنور في اغلفة الثمرة او البنور (مثل الطماطة وثمار الحسك الحاوية على بذرتين) كما وان البنور الحقيقية قد تحوى ايضاً على أليات سكون . وتكون عادة الثمار غنية بالعناصر لتغذية البادرات . وتحوى بعض الثمار على مثبطات النمو التي تمنع انبات بذورها لبعض الوقت (يتزامن مع الظروف البيئية الملائمة) وكذلك تثبيط انبات ونمو الانواع المنافسة . على سبيل المثال ، تحوى ثمار الجوز لاسود *black walnut* على مثبط الـ *juglone* الذي يسبب منع هذا التثبيط (*allelopathy*) (انظر الفصل السابع) .

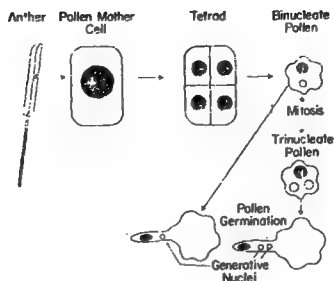
التلقيح POLLINATION

تتكون حبوب اللقاح في الخلايا الامية الذكرية *microspore mother cells* في المتوك *anthers* . ويتبع الانقسام الاختزالي *meiotic* والانقسام الاعتيادي *mitotic* تكون اربعة خلايا *tetrad* ، والتي تنضج لتكوين حبوب اللقاح (شكل ١٢ - ٩) . وقد تحوي حبوب اللقاح اما على نواتين او ثلاثة نوى (Brewbaker 1959) : اي ان حبة اللقاح قد تحوي على نواة او نواتين مولدة *generative nuclei* بالاضافة الى النواة الخضرية *vegetative nucleus* . وتتميز اعضاء العائلة النجيلية والمركبة باحتوائها على ثلاث نوى نتيجة الانقسام الاختزالي الثاني في الخلايا الامية الذكرية . ويحصل انقسام اختزالي ثاني في حبوب اللقاح الحاوية على نواتين ايضاً عند إنبات حبة اللقاح وتصبح ذات نوى في تأثيرها .

وتنبت حبوب اللقاح على الاغلب عند اتصالها مع الميسم المستقبل *receptive stigma* والذي يوفر مواد محفزة ملائمة للنمو . ويحدث إنبات حبوب اللقاح خارج الاحياء *in vitro* باستعمال الاكر *agar* ومحلول السكر (اضافة الى بعض المعادن لبعض الانواع) . ويكون إنبات حبوب اللقاح واضحاً بالزيادة السريعة في التنفس وتمثيل الـ *RNA* والبروتين . وتحصل هذه العمليات في فترة ٢ الى ٣٠ دقيقة (Leopold and Kriedemann 1975) .

وهناك مجموعة من العوامل التي تؤثر على إنبات حبوب اللقاح (Vasil 1960) . وتشمل على تركيز ملائم للسكرز وثاني اوكسيد الكربون والبورون والكالسيوم . ويبدو بان البورون يشجع استهلاك السكرز . وتبين الدراسات المخبرية خارج الاحياء بان منظمات النمو في الميسم او الوسط الغذائي غير ضرورية للانبات حيث ان حبوب اللقاح غنية بالاوكسين والجبريلينات . لقد ازداد إنبات ونمو انبوب اللقاح من كتلة حبوب اللقاح . مقارنة مع حبة لقاح واحدة وهنا يوضح تحفيز هورمونات النمو . هنا وان لمستخلص ماء حبوب اللقاح تأثير تحفيزي مشابه (Brewbaker and Majumder 1961) .

وقد يحصل إنبات حبة اللقاح لوحدها او .على ميسم غريب (عدم التوافق *incompatibility*) بالرغم من توفر ظروف ملائمة لذلك . وتوجد انواع عديدة ذات توافق ذاتي *self-incompatible* كاغلب اعضاء العائلة البقولية . وان زيادة حشرات النخل ضرورية لتمزيق غشاء الميسم لاستقبال حبة اللقاح . وقد ينتج المقم النهائي ايضاً من اختلاف نضج الامشاج *gametes* الذكرية والانثوية . ويمتد بأن المثبطات الانزيمية او الكيمياوية تسبب عدم التوافق في بعض الانواع .

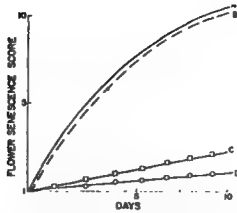


شكل (١٢ - ٩) تكوين حبة اللقاح أثناء التزهير والانتبات لخلايا حبوب اللقاح الحلقية على نواتين أو ثلاثة نوى .

عقد الثمار FRUIT SET

ان ابتداء نمو الثمار وتكوينها الذي عادة ينشأ بالاختصاب يسمى عقد الثمار . ويرتبط عقد الثمار مع عدد من الاحداث الفسيولوجية . وتشمل على النمو السريع للثمار وشيخوخة الازهار . وفي دراسة القرنفل carnation صنف 'White Sim' (Nichols 1971)

وجد مركبين ينموهما ، (الايثشيفون (ethephon) و 2-chlorethylphosphoric acid (2,4-D) و 2,4-dichlorophenoxyacetic acid الذي يحرر الاثيلين المقيد في الازهار . وتنتج زهرة الشليك المخصبة كمية اثيلين بمقدار اربعة الى خمسة مرات تنتجها الزهرة غير المخصبة (Bicasdale 1973) . كما وان الاثيلين ينتج في المسم والقلم . ويتضاعف انتاج الاثيلين في الازهار غير الملقحة عندما ترش بالاكوكسين . وقد تؤثر بعض المركبات الاخرى على شيخوخة المبايض غير المخصبة والمخصبة (Nitsch 1953) (شكل ١٢ - ١٠) .



شكل (١٢ - ١٠) شيفوخة الازهار وعلاقتها بالاصحاب والموامل الاخرى (A) مبيض مصعب . (B) مبيض غير مصعب + الاثيلين (C) مبيض مصعب + ثاني اوكسيد الكاربون (D) مبيض غير مصعب .

يحفز التلقيح بدون اخصاب نمو الثمار اللاقاحي parthenocarpy في بعض الانواع مثل الحمضيات والعنب بدون بنور . ويمكن تعريف انواع الثمار بدون اخصاب (الثمار اللاقاحي) كما يلي ،

- ١ - نمو وتكوين الثمار بدون تلقيح .
- ٢ - عملية نمو وتكوين الثمار بحصول تلقيح ولكن بدون اخصاب او اتحاد النوى الذكرية والانثوية (تكاثر خضري *Aponixis*) .
- ٣ - نمو وتكوين الثمار بالتلقيح والاصحاب ولكن بدون تكوين بنور (بسبب الاجهاض) .

وتحتوي حبوب اللقاح على الاوكسينات التي تحفز التفاعلات التي تحصل في عقد الثمار . وان الثمرة النامية تنتج الاوكسين الذي تحتاجه (مثل الموز) ويمكن للاوكسينات المصنعة تحفيز عقد الثمار في عدد من الانواع وخاصة العائلة الباذنجانية Solanaceae والعائلة القرعية Cucurbitaceae . ولا تحفز في انواع اخرى مثل التفاح والكرز cherry وفي مجموعة اخرى من الانواع يكون تحفيز نمو الثمار بالاوكسينات المصنعة وقتي او يبقى فقط لمدة تجهيز الاوكسين . ويجب تجهيز اوكسين اضافي لاستمرار نمو الثمرة . ويستعمل الجبريلين تجارياً لزيادة نمو الثمار في بعض انواع الثمار الخالية من البنور مثل صف العنب Thompson's Seedless كما انه يحسن شكل الثمار .

وتمثل الطماطة والفلفل والقرع والموز والخيار النوع الاول . ويمثل التكاثر الخضري Apomixis في حشيش كنتاكي الاوراق Kentucky bluegrass والحمضيات النوع الثاني . ان بنور حشيش كنتاكي الازرق حية وتستعمل لغراض التكاثر . اما النوع الثالث الخالية من البنور او اجهاض بنور الاثمار اللالاقاحي فهو شائع في الكمثرى والكرز cherry . وما عدى التكاثر الخضري apomixis في عدد من انواع الحشائش والحمضيات فان الاثمار اللالاقاحي لا يوجد في بنور المحاصيل وليس مرغوباً . حيث ان انتاج البنور هو الهدف التجاري لاغلب المحاصيل الحقلية .

فشل عقد الثمار FAILURE IN FRUIT SET

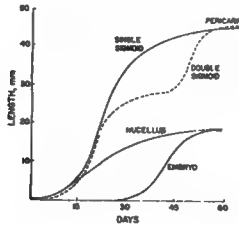
ان فشل اغلب الازهار في عقد الثمار هو القاعدة وليس الاستثناء . ويعد فشل ٥٠ - ٧٥ ٪ من ازهار الصويا والحنطة شائعاً في هذه المحاصيل ويملك عرنوس النرة الصفراء القدرة على تكوين ١٠٠٠ حبة . الا ان هذا العدد نادر الانتاج . وهناك ثلاثة اسباب تؤدي الى فشل عقد الثمار :

- ١ - نقص التلقيح . غالباً ماتجهض متوك وجوب لقاح الحشائش بسبب الحرارة والجفاف وخاصة في الحشائش وتسمى هذه الظاهرة *blasting* . وقد لاتزور حشرات النحل ازهار البقوليات خلطية التلقيح .
- ٢ - نقص الاخصاب بسبب ضعف حبة اللقاح او عدم التوافق .
- ٣ - اجهاض Abortion (سقوط) الازهار والثمار . والاجهاض شائع في انواع البقوليات ذاتية التلقيح *cleistogamous* (مثل فول الصويا) . ان عدد الازهار المنتجة يكون كثيراً الا ان اغلبها قد يجهب (وحتى القرنات الواطئة) . وقد تجهض القرنات عندما تكون صغيرة وخاصة في النباتات المصابة بمرض في الكشافات النباتية العالية والكساء الطويل وفي الحشائش قد تجهض النورة الزهرية كلها او ٥٠ ٪ او اكثر من الزهيرات في النورة . ويعتقد بان سبب هذا الاجهاض يعود الى نقص العناصر العضوية الناتج من التنافس ضمن النبات بين الازهار او الثمار في السنبلة او الرأس ذات التنافس العالي . ويستطيع النبات عقد ونضج البنور التي يمكن ان يجهزها بنواتج التمثيل فقط . وتقلل الظروف البيئية القاسية (الشد stress) تجهيز نواتج التمثيل وعدد البنور .

FRUIT GROWTH نمو الثمار

ان نمو اي عضو نباتي يتمثل بمنحنى نمو سيكمويد القياسي sigmoid curve (انظر الفصل الثامن) . الا ان عدداً من الثمار وخاصة الثمار مفردة النواة drupes تتمثل بمنحنى سيكمويد المضاعف double sigmoid (شكل ١٢ - ١١) . وعادة يطابق منحنى نموسيكمويد الاول نمو البذور والثاني يطابق نمو الثمرة .

ويؤدي التلقيح الى نشوء نمو المبيض . وعند عدم حصول التلقيح تتكون طبقة الانفصال abscission layer في الزهرة وتسقط . وقد يكون سقوطها بسبب نقص هورمونات النمو الملائمة (Nitsch 1952) . ويوفر التلقيح مصدراً كافياً لهورمونات النمو لنشوء نمو الثمار . هذا وان المحفز الناتج من التلقيح وقتي . حيث ان تجهيز الجبريلينات الداخلية من جبة اللقاح تستهلك بسرعة (Carr and Skene 1961) وتحدث الذروة الثانية لنمو الثمار بتجهيز الهورمونات الجديدة من الثمرة ولقد لخص (Nitsch 1951) ثلاثة مراحل مميزة لنمو الثمرة :



شكل (١١ - ١٢) يبين نمط منحنى سيكمويد الزوجي لنمو بعض الثمار مقارنة مع نمط منحنى سيكمويد النموذجي الفردي .

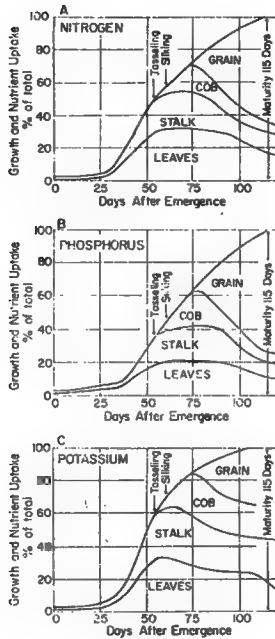
- ١- قبل التزهير *Preanthesis* . نمو المبيض وخاصة بانقسام وزيادة عدد الخلايا .
- ٢- التزهير *Anthesis* . تلقيح واخصاب البويضات وتحفيز نمو المبيض وسقوط او اجهاض الازهار غير المخصبة .
- ٣- بعد الاخصاب *Postfertilization* . يحدث زيادة حجم الثمرة اساساً من زيادة توسع الخلايا .

تعد الاوكسينات والجبريلينات الهرمونات الرئيسية في نمو الثمار . هذا وان حبة لقاح الذرة الصفراء غنية بكل الهورمونين (Fukui et al. 1958) . ويمكن لمستخلص حبوب اللقاح تحفيز نمو الثمرة بصورة وقتية . الا ان توفر مصدر للهورمونات يعد ضرورياً كما في تكوين البذور لاستمرار النمو . ويؤدي الطلب العالي للعناصر الغذائية للثمار النامية الى انتقال المركبات من الاجزاء الخضرية الى الثمار والبذور المتكونة (شكل ١٣ - ١٢) . وتصل نسبة النتروجين والفسفور والبوتاسيوم في سيقان واوراق الذرة الصفراء ذروتها بعد ظهور الحريرة *silking* بمدة قصيرة ثم تنخفض مع تكوين الحبوب السريع تتقل العناصر الغذائية من الاجزاء الخضرية الى الاجزاء الثمرية . ويعد الكوز (cob) أو *rachis*) في نورة الذرة الصفراء مصدراً للعناصر خلال تكوين البذور .

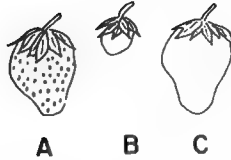
نمو البذور SEED GROWTH

لقد وجد بأن البذور كحبوب اللقاح غنية بالمركبات المشجعة للنمو وهي الاوكسينات والجبريلينات والسايكوكاينينات (Leopold and Kriedemann 1975) .

وتعد الثمار والبذور مصدراً لتجهيز منظمات النمو بمد المساعدة الوقتية لحبوب اللقاح . على سبيل المثال ، اُكتشف وجود الزيتين *zeatin* وهو سايكوكاينين في الانوسبرم في الطور الحليبي في بذور الذرة البيضاء . كما استخلص أيضاً حامض الاندول خليك *IAA* من بذور الذرة الصفراء . وقد عزل عدد من الجبريلينات من البذور (Letham 1963) . كما تنتج البذور الاثيلين اثناء الانبات وبصورة عامة يتحفز نمو الثمرة بالتلقيح وحده ماعدا الاثمار اللاالقاحي *partenocarpic* . هذا وان البذور ضرورية لنمو وتكوين الثمار . فمثلاً ، لا يتكون كرسى *receptacle*



شكل (١٢ - ١٣) امتصاص النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وتوزيعها الموسمي في نبات القمح العفراء . لاحظ
 فقد المتأخر من الانسجة الخضراء الى البذور المتكونة .



شكل (١٢ - ١٣) تأثير البذور (الفقرة schene) على تكوين ثمار الشليك strawberry A - ثمرة ذات بذور ، B - تم إزيت البذور في مراحل التكوين المبكرة .
- تم إزيت البذور كما في B وعولت بالأوكسين على الثمرة الحديثة (From Nitsch 1950) .

زهرة الشليك الى ثمرة بدون البذور (ثمرة جافة achenes) (شكل ١٢ - ١٣) .
ويؤدي التلقيح غير الجيد او نقص التغذية الى فشل تكوين البذور مسبباً تقزم او تشوه ثمار الشليك (Nitsch 1950) . ان دور البذور في تكوين الثمرة في الثمار الجافة غير واضحاً .

وتؤدي الجروح والنضج وعوامل اخرى الى حث انتاج الاثيلين واجهاض الثمار في اغلب الانواع (Lipe and Morgan 1972) كما هو شائع في فول الصويا المصابة بتعفن الساق stem rot .

MATURATION AND RIPENING التام والنضج والبلوغ

تبلغ mature الثمرة عندما تصل الى حجمها النهائي ويصبح معدل الزيادة في الوزن الجاف صفر . وتنضج ripen الثمار التي وصلت حجمها النهائي بعد مرورها خلال سلسلة من الاحداث الانزيمية والبايوكيمياوية التي تؤدي الى تغيير المكونات الكيماوية (Leopold and Kriedemann 1975) . وفي الثمار الناضجة تتوقف الانظمة الانزيمية القديمة وتنتج انظمة جديدة تسبب طراوة وتحويل النشويات الى سكريات في الثمار اللحمية (مثل التفاح) وينخفض مستوى الحامض في ثمار الحمضيات . ويفقد الكلوروفيل بينما تزداد صبغات الزانثوفيل xanthophyll والكاروتين . carotene او انها لاتعطي بعد ازالة الكلوروفيل . وتحدث بعض هذه التفاعلات ايضاً في بذور الحشائش وثمار (قرنات pods) البقوليات الا انها اقل وضوحاً .

وترتبط التغيرات الحاصلة أثناء النضج مع معدل تنفس عالي نسبياً في الثمار ذات ظاهرة الكلايماكتيري *climacteric* (نضج سريع). وتنخفض الفعاليات الأيضية في الثمار ذات ظاهرة الكرايماكتيري والتي من ضمنها المحاصيل الحقلية.

يعد فقد الكلوروفيل والاسراع بالشيخوخة صفة مميزة للثمار الجافة المنفصلة (مثل قرنات فول الصويا). هذا ويزداد محتوى الكاروتين في الذرة الصفراء. ويلعب الاثيلين وحامض الابسيك دوراً مهماً في انفصال وسقوط الثمار والكسولات الجافة (مثل ثمار فول الصويا وكسولات الخروع).

يتحدد عدد الثمار بالنبات (مثل القرنات في فول الصويا والحبوب في الذرة الصفراء) بوقت مبكر نسبياً من تطور نباتات المحاصيل.

وفي النباتات المروية والمسمدة جيداً للاصناف المتكيفة ان عدد الثمار عبارة عن دالة معدل التمثيل الضوئي وتجهيز نواتج التمثيل. لذا فان عدد الثمار بالنبات لتركيبة وراثي معين عبارة عن دالة المكان الذي يحتله والضوء الذي يعترضه. وهكذا فان عدد الثمار بوحدة المساحة ذو علاقة اكبر من اعتراض الضوء من عدد النباتات. لذا فان اعتراض الضوء ونواتج التمثيل المنتجة بوحدة مساحة الارض يحدد عدد البذور بوحدة المساحة وبغض النظر عن عدد النباتات. وعندما يتحدد عدد البذور فان الحاصل يصبح دالة حجم البذور. وعادة يكون حجم البذور لصنف ما ثابت نسبياً. الا ان الظروف القاسية (الشد) خلال فترة امتلاء الحبوب قد يسبب خفض حجم البذور. وان هذا الانخفاض ناتج من تقليل نواتج التمثيل الجاهز أو تقليل تروجين الورقة. ويعتبر تروجين الورقة عامل رئيس في حاصل بنور فول الصويا (Sinclair)

1981) كما وجد بأن حجم بنور الفستق ينظم حجم الثمرة (Nimbkar 1981)

كما ان اصناف الفستق ذات القرنات الصغيرة تنتج بنوراً صغيرة بسبب اعاقه جدار القرنة الذي يؤدي الى انتاج خلايا اقل واصغر حجماً. وان اصناف فستق الحقل ذات القرنات الصغيرة تنتج عادة عدد قرنات وبنور اكثر بالنبات.

الخلاصة

يعد التزهير والاثمار وعقد البذور أحداث ضرورية في انتاج نباتات المحاصيل . وتنظم هذه العمليات بالعوامل البيئية وخاصة المدة الضوئية ودرجة الحرارة والعوامل الوراثية او الداخلية وخاصة منظمات النمو ونواتج التمثيل الضوئي وتجهيز العناصر الغذائية (مثل التروجين) .

واعتماداً على استجابة النباتات الى طول النهار (بتغيير أدق طول الليل) . يمكن تقسيم اغلب نباتات المحاصيل الى نباتات قصيرة النهار (SDPs) ونباتات طويلة النهار (LDPs) ونباتات متوازنة (محايدة) (DNPs) . وتمثل فول الصويا والحنطة والطماطة الانواع الثلاثة السابقة على التوالي . وعادة يشير تزهير النباتات من أواخر الصيف الى الخريف بأنها نباتات قصيرة النهار . والتزهير من الربيع الى اوائل الصيف يدل على انها نباتات طويلة النهار . وعادة تمد النباتات الاستوائية قصيرة النهار الا انها قد تكون غير حساسة للمدة الضوئية photoperiod-insensitive (نباتات متوازنة او محايدة DNPs) .

ان اي اعتراض قليل الليل الطويل بالاشعة الحمراء (تأثيرها الاقصى عند ٦٦٠ نانوميتر) بمستويات طاقة منخفضة يعطي تأثير ليل قصير او نهار طويل ويمنع التزهير في نباتات الايام القصيرة ويشجع التزهير في نباتات النهار الطويل . اما الاعتراض بالاشعة تحت الحمراء (اقصى فعالية عند ٧٣٥ نانوميتر) التي تعطي تأثير معاكس حيث تشجع التزهير في نباتات النهار القصير وتمنعه في نباتات النهار الطويل . وتكون الاشعة تحت الحمراء في درجات الحرارة العالية مكافئة الى الظلام وان تأثير الاشعة الحمراء يعكس بمكافئة الظلام . ان صبغة الفايثوكروم هي الصبغة المستلمة للضوء لكلا الاشعة الحمراء وتحت الحمراء . ويقوم فايثوكروم P_r و P_{fr} بالمعكس الضوئي بالضوء الاحمر أو تحت الاحمر . ويعتمد تركيز توازن الـ P_r والـ P_{fr} ومن ثم تحفيز الأزهار على طول مدة التعرض للظلام بدون انقطاع ويعد الـ P_r أكثر أشكال الفايثوكروم فعال بايولوجياً .

وتبين الادلة من تجارب التطعيم بأن محفز المدة الضوئية يستلم بالاوراق وينتقل الى المرستيمات مسبباً تحول النبات من الحالة الخضرية التزهير . ويتضح بأن محفز التزهير لا ينتقل الى سيقان أو اشطاء جديدة او غير معرضة للضوء . وتحوى نباتات الحشائش على سيقان خضرية عديدة مع سيقان مزهرة على نفس النبات .

يحدث نشوء القنرات في اصناف فول الصويا غير محددة النمو أولاً في محاور العقدة السفلية ويستمر من تلك النقطة الى الاسفل والاعلى . وبعد تكوين الثمار على محاور الساق الرئيسي تبدأ الافرع بالتزهير وتكوين الثمار

ويجب تعريض بعض النباتات الى درجات حرارة قريبة من الانجماد (تعجيل التزهير) لفترة اسابيع لأكمال حث التزهير . وتحتاج عادة النباتات الحولية الشتوية (مثل الحنطة) والنباتات المحولة (مثل البنجر السكري) الى تعجيل التزهير لاجل حصول التزهير فيها . ويمكن تعجيل التزهير بتعرض بذور محاصيل الحبوب الشتوية الحولية المنقوعة لدرجات حرارة منخفضة، الا ان النباتات الخضراء في الانواع المحولة والمعمرة هي التي تستلم مدة البرودة . وبعد تعجيل التزهير فان الايام الطويلة ضرورة لحصول التزهير . وبكلمات اخرى . يجب ان يحصل تعجيل التزهير قبل تعرض النباتات الى الايام الطويلة . ويتضح بأن موقع تعجيل التزهير في المرستيم وليس في الورقة .

ويشمل التزهير على ثلاثة مراحل مميزة هي ، الحث والنشوء والتكوين اللاحق للزهرة . ويحتاج كل منها الى مدة ضوئية ودرجات حرارة مثالية . يتطلب حث الازهار الذي يحدث طبيعياً في الخريف في الحشائش المعمرة في المناطق المعتدلة مثل حشيش البساتين درجات حرارة منخفضة لفترة اسابيع مع ايام قصيرة .

اما النشوء الذي يحدث طبيعياً في الربيع فيتطلب الى درجات حرارة دافئة مع ايام طويلة . ويتطلب التكوين اللاحق للازهار درجات حرارة دافئة وايام طويلة كما في النشوء . اضافة الى متطلبات غذائية عالية . وتختلف متطلبات المدة الضوئية لنشوء الازهار في فول الصويا عن متطلبات التكوين اللاحق للازهار .

وتحتوي حبوب اللقاح على منظمات نمو ومحفزات نمو الثمرة . كما ان الثمار والبنور غنية ايضاً بهورمونات النمو . هنا ولا تنمو اغلب الثمار بدون نمو البذرة . ويبدو بوضوح ان ذلك بسبب حاجة البذور الى مصدر للهورمونات الا ان بعض الثمار قد لاتحتوي على بذور (الاثمار اللاإلقاحي parthenocarpic) وتنمو فقط بمحفز حبوب اللقاح لنشوء نمو الثمار . ويشمل نضج الثمار على مجموعة من الهورمونات تختلف عن تلك المطلوبة في النمو . ويكون الاثيلين عالي الفعالية في النضج وخاصة في الثمار ذات معدل التنفس السريع climacteric fruits

34. The Gramineae: A Study of Cereals, Bamboo, and Grass. New York: Macmillan.
- Wassdale, J. K. A. 1973. Plant Physiology in Relation to Horticulture. Westport, Conn.: AVI.
- Borthwick, H. A., and M. W. Parker. 1938. Bot. Gaz. 99:825-39.
- Borthwick, H. A., M. W. Parker, and P. H. Heinze. 1941. Bot. Gaz. 102:792-800.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks, and M. W. Parker. 1956. In Radiation Biology, vol. 3, ed. A. Hollaendar. New York: McGraw-Hill.
- Brewbaker, J. L. 1959. Indian J. Genet. Plant Breed. 19:121-33.
- Brewbaker, J. L., and S. K. Majumder. 1961. Am. J. Bot. 48:457-64.
- Carr, D. J., and K. G. M. Skene. 1961. Aust. J. Biol. Sci. 14:1-12.
- Chailakhyan, M. K. H. 1936. Proc. Acad. Sci. USSR [Dokl.] 3:433-37.
- Clark, H. E., and K. R. Kerns. 1942. Science 95:536-37.
- Cooper, J. P. 1950. J. Br. Grassl. Soc. 5:105-12.
- Cumming, B. G. 1959. Nature 184:1044-45.
- Downs, R. J. 1956. Plant Physiol. 31:279-84.
- Evans, L. T. 1969. The Induction of Flowering: Some Case Histories. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Fisher, J. E. 1962. Can. J. Bot. 41:871-73.
- Fukui, H. N., F. G. Teubner, S. H. Wittwer, and H. M. Sell. 1958. Plant Physiol. 33:144-46.
- Gardner, F. P., and W. E. Loomis. 1953. Plant Physiol. 28:201-17.
- Garner, W. W., and H. A. Allard. 1920. J. Agric. Res. 18:553-606.
- _____. 1923. J. Agric. Res. 23:871-920.
- _____. 1925. J. Agric. Res. 31:555-66.
- Greulach, V. A., and J. C. Haesloop. 1958. Science 127:646-47.
- Gustafson, F. G. 1936. Proc. Natl. Acad. Sci. 22:628-36.
- Hamner, K. C. 1938. Bot. Gaz. 99:615-29.
- _____. 1969. In The Induction of Flowering, ed. L. T. Evans. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Hensel, H. 1953. Ann. Bot. n.s. 17:417-32.
- Hillman, W. S. 1962. The Physiology of Flowering. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Holdsworth, M. 1956. J. Exp. Bot. 7:395-409.
- Jennings, P. R., and R. K. Zuck. 1954. Bot. Gaz. 116:199-200.
- Kasperbauer, M. J. 1970. Agron. J. 62:825-27.
- _____. 1973. Agron. J. 65:447-50.
- Kasperbauer, M. J., F. P. Gardner, and W. E. Loomis. 1962. Plant Physiol. 37:165-70.
- Kasperbauer, M. J., H. A. Borthwick, and S. B. Hendricks. 1963. Bot. Gaz. 124:444-51.
- _____. 1964. Bot. Gaz. 125:75-80.
- Khudairi, A. K., and K. C. Hamner. 1954. Plant Physiol. 29:251-57.
- Lang, A. 1951. Züchter 21:241-43.
- _____. 1952. Annu. Rev. Plant Physiol. 3:265-306.
- Lang, A., and G. Melchers. 1947. Z. Naturforsch. 26:444-49.
- Leopold, A. C. 1958. Annu. Rev. Plant Physiol. 9:281-310.
- Leopold, A. C., and P. E. Kriedemann. 1975. Plant Growth and Development. 2d ed. New York: McGraw-Hill.
- Leopold, A. C., and K. V. Thimann. 1949. Am. J. Bot. 36:342-47.
- Letham, D. S. 1963. Life Sci. 8:569-73.
- Lipe, J. A., and P. W. Morgan. 1972. Plant Physiol. 50:759-64.
- Liverman, J. L., and A. Lang. 1956. Plant Physiol. 31:147-50.
- Lockhart, J. A., and K. C. Hamner. 1954. Bot. Gaz. 116:133-42.
- Long, E. M. 1939. Bot. Gaz. 101:168-88.
- Major, D. J. 1980. Can. J. Plant Sci. 60:777-84.
- Mann, L. K. 1940. Bot. Gaz. 102:339-56.

- Moshkov, B. S. 1939. Proc. Acad. Sci. USSR [Dokl.] 22:456.
- _____. 1947. Proc. Natl. Acad. Sci. 33:303-12.
- Naylor, A. W. 1941. Bot. Gaz. 103:342-53.
- Nichols, K. 1971. J. Hort. Sci. 46:323-32.
- Nimbkar, N. 1981. Cell Number in Relation to Seed Size in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Ph.D. diss., University of Florida, Gainesville.
- Nitsch, J. P. 1950. Am. J. Bot. 37:211-15.
- _____. 1951. In Plant Physiology: A Treatise, ed. F. C. Steward. New York: Academic Press.
- _____. 1952. Q. Rev. Biol. 27:33-57.
- _____. 1953. Annu. Rev. Plant Physiol. 4:199-236.
- Parker, M. W., S. B. Hendricks, H. A. Borthwick, and N. J. Skully. 1946. Bot. Gaz. 108:1-26.
- Peterson, M. L., and W. E. Loomis. 1949. Plant Physiol. 24:31-43.
- Purvis, O. N., and F. G. Gregory. 1937. Ann. Bot. n.s. 1:569-92.
- Ritchie, S. W., and J. J. Hanway. 1982. Iowa State Univ. Spec. Rep. 48.
- Salisbury, F. B. 1955. Plant Physiol. 30:327-34.
- _____. 1963. The Flowering Process. New York: Macmillan.
- _____. 1969. In The Induction of Flowering, ed. L. T. Evans. Ithaca: Cornell University Press.
- Salisbury, F. B., and J. Bonner. 1956. Plant Physiol. 31:141-47.
- Schwabe, W. W. 1957. J. Exp. Bot. 8:220-34.
- Sinclair, T. R. 1981. Personal communication.
- Stanley, R. G. 1958. In The Physiology of Forest Trees, ed. K. V. Thimmann. New York: Ronald Press.
- Thomas, J. F., E. D. Raper. 1982. Personal communication.
- Vasil, I. K. 1960. Nature 187:1134-35.
- Vergara, B. S., and T. T. Chang. 1976. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod: A Review of Literature. 3d ed. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute.
- Wareing, P. F., and I. D. J. Phillips. 1978. The Control of Growth and Differentiation in Plants. 2d ed. Oxford and New York: Pergamon.
- Wellensiek, S. J. 1962. Nature 195:307-8.
- Wittwer, S. H., and M. J. Bukovac. 1958. Econ. Bot. 12:213-55.
- Zobka, G. G. 1961. Am. J. Bot. 48:21-28.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٢٨٧ لسنة ١٩٩٠

Physiology of Crop Plants

F. B. Gardner

R. B. Pearce

R. L. Mitchell

**Translated By
Dr. Talib A. Essa**
